

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

« Se défier du ton d'assurance qu'il est si facile de prendre et si dangereux d'écouter »
Charles Coquebert, *Journal des mines* n°1, Vendémiaire An III (septembre 1794)



Changer avec le climat

UNE SÉRIE DES
ANNALES
DES MINES

FONDÉES EN 1794

N° 80
OCTOBRE 2015

Publiées avec le soutien de
l'Institut Mines-Télécom

Changer avec le climat

03

Éditorial

Pierre COUVEINHES

05

Avant-propos

Maud H. DEVÈS

10

Remarques économiques et historiques sur les enjeux de la négociation climatique à venir

François VALÉRIAN

21

Analyse prospective des solutions technologiques au défi climatique

Olivier APPERT

29

Réchauffement climatique, sécheresses et migrations

Thierry GAUDIN

37

Le secteur des terres : solution au problème du dérèglement climatique ?

ou « un futur brillant pour l'agriculture »

Guillaume BENOIT

57

Réflexions d'un jeune ingénieur sur le colloque

Changer avec le Climat tenu à Bercy le 30 juin 2015

Pierre JÉRÉMIE

HORS DOSSIER

72

Le bilan énergétique de la France pour 2014

Sous-direction des statistiques de l'énergie, CGDD, MEDDE

102

Traductions des résumés

107

Biographies des auteurs

Le dossier est coordonné par Pierre COUVEINHES

RESPONSABILITÉ & ENVIRONNEMENT

ISSN : 1268-4783
Série trimestrielle • n°80 - Octobre 2015

Rédaction

Conseil général de l'Economie, de l'Industrie,
de l'Energie et des Technologies, Ministère de
l'Economie, de l'Industrie et du Numérique
120, rue de Bercy - Télédocus 797 - 75572 Paris Cedex 12
Tél : 01 53 18 52 68
<http://www.annales.org>

Pierre Couveinhes
Rédacteur en chef

Gérard Comby
Secrétaire général

Martine Huet
Assistante de la rédaction

Marcel Charbonnier
Correcteur

Myriam Michaux
Webmestre

Membres du Comité d'Orientation

Le Comité d'Orientation est composé des membres
du Comité de Rédaction et des personnes dont les
noms suivent :

Jacques Brégeon
Collège des hautes études de l'environnement
et du développement durable, ECP, INA P-G, SCP-EAP

Christian Brodhag
Ecole nationale supérieure des Mines de Saint-Etienne

Xavier Cuny
Professeur honoraire Cnam, Conseil supérieur
de la prévention des risques professionnels

William Dab
Cnam, Professeur

Thierry Chambolle
Président de la Commission « Environnement »
de l'Académie des technologies

Hervé Guyomard
CNRA Rennes

Vincent Lafèche
Président du BRGM

Yves le Bars
Cemagref

Patrick Legrand
Inra, Vice-président de la Commission nationale du débat
public

Benoît Lesaffre
CIRAD

Geneviève Massard-Guilbaud
Ecole des Hautes études en sciences sociales,
Directrice d'études

Marc Mortureux
Directeur général de l'ANSES

Alain Rousse
Président de l'AFITE

Virginie Schwartz
Directrice de l'Energie, MEDDE

Membres du Comité de Rédaction

Philippe Saint Raymond
Président du Comité de rédaction
Ingénieur général des Mines honoraire

Pierre Amouyel
Ingénieur général des Mines honoraire

Paul-Henri Bourrelier
Ingénieur général des Mines honoraire, Association
française pour la prévention des catastrophes naturelles

Mireille Campana
Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie
Haut fonctionnaire de développement durable

Dominique Dron
Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

Pascal Dupuis
Chef du service du climat et de l'efficacité énergétique,
Direction générale de l'énergie et du climat, MEDDE

Jérôme Goellner
Chef du service des risques technologiques,
Direction générale de la prévention des risques, MEDDE

Jean-Luc Laurent
Directeur général du Laboratoire national de métrologie et
d'essais (LNE)

Richard Lavergne
Chargé de mission stratégique Energie-Climat au
Commissariat général au développement durable, MEDDE

Bruno Sauvalle
Ingénieur en chef des Mines, Mines ParisTech

Jacques Serris
Ingénieur général des Mines, Conseil général de l'Économie

Claire Tutenuit
Déléguée générale d'Entreprises pour l'Environnement (EPE)

François Valérian
Ingénieur en chef des Mines, Conseil général de l'Économie

Photo de couverture :

Photo © Lifen Chau/Featurechina-ROPI-REA
L'assèchement partiel du Fleuve bleu (Yangzi Jiang) à
Chongqing (Chine), août 2007

Iconographie
Christine de Coninck

Abonnements et ventes

COM & COM
Bâtiment Copernic - 20 Avenue Edouard Herriot
92350 LE PLESSIS ROBINSON

Alain Bruel
Tél. : 01 40 94 22 22 - Fax : 01 40 94 22 32
a.bruel@cometcom.fr

Mise en page : Nadine Namer

Impression : Printcorp

Editeur Délégué :

FFE - 15 rue des Sablons 75116 - www.ffe.fr
Fabrication : Charlotte Crestani
charlotte.crestani@belvederecom.fr - 01 53 36 20 46

Régie publicitaire : Belvédère Com

Directeur de la publicité : Bruno Slama - 01 40 09 66 17
bruno.slama@belvederecom.fr

Changer avec le climat !

Par Pierre Couveinhes
Ingénieur général des Mines

A lors que Paris s'apprête à accueillir la COP21 ⁽¹⁾, ce numéro de *Responsabilité & Environnement* est le second consacré cette année aux questions climatiques, après celui de janvier ⁽²⁾, qui s'attachait principalement à analyser la dynamique des négociations et les stratégies des différents acteurs.

Cette fois, le numéro s'intéresse aux solutions concrètes qui peuvent être apportées au changement climatique, en s'appuyant sur une journée d'étude qui s'est tenue dans les locaux du ministère de l'Économie, à Bercy, le 30 juin dernier ⁽³⁾.

Maud Devès, qui a assuré la coordination de cette journée, présente tout d'abord les réflexions qui ont orienté les travaux et en donne un bref bilan. Suivent des articles de quatre des personnalités qui sont intervenues : François Valérian, Olivier Appert, Thierry Gaudin et Guillaume Benoit. Enfin, Pierre Jérémie présente une synthèse des différentes interventions et des débats de la journée d'étude, tout en faisant part de ses « réflexions de jeune ingénieur après le colloque ».

Comme le souligne Maud Devès dans son avant-propos, aborder le « problème climatique » par les solutions qui peuvent y être apportées n'a rien d'une approche triviale. Vingt-deux ans après la signature de la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques, maintes réunions internationales se sont tenues et de multiples rapports ont été publiés sur la question, mais bien peu de mesures concrètes ont été mises en œuvre. Pour reprendre la formulation de Maud Devès, les responsables en charge des négociations sur le climat semblent avoir été frappés d'une sorte de « sidération fataliste » face à la dimension planétaire du problème, celle-ci paraissant les avoir empêchés jusqu'ici de prendre des décisions pratiques...

François Valérian revient sur ce phénomène en faisant appel à la théorie des jeux : la difficulté à chiffrer les effets du changement climatique et leur répartition géographique, ainsi que le coût des mesures qui permettraient d'y remédier incite à un comportement de passager clandestin : « il vaut mieux laisser faire par d'autres un investissement certain, mais au bénéfice très incertain, que l'on recueillera peut-être soi-même » du fait du caractère global de la question climatique. À ce propos, force est de constater que la Communauté européenne est aujourd'hui l'un des rares passagers à avoir acquitté le prix de son billet...

La théorie des jeux nous enseigne que l'on ne peut sortir d'une telle situation (connue sous le nom de « dilemme du prisonnier ») que par la conclusion d'un accord entre toutes les parties : cela nous fait prendre toute la mesure des enjeux de la prochaine COP21.

À mon avis, la possibilité d'arriver à un accord global a été gravement obérée par l'extrême focalisation des spécialistes et des négociateurs climatiques sur certains phénomènes particuliers (les émissions de CO₂ du secteur énergétique, en particulier) et sur certaines technologies (le solaire et l'éolien), en laissant dans l'ombre d'autres sujets incomparablement plus importants à court terme pour nombre de pays, telles que les questions de l'eau, de l'alimentation et du développement économique.

François Valérian rappelle à juste titre que les pays du Sud se sont jusqu'ici situés très majoritairement dans la ligne du discours prononcé en 1972 par Indira Gandhi lors de la conférence de Stockholm, dans lequel elle donnait une priorité absolue au développement économique qui permet de lutter contre la pauvreté, en refusant qu'il puisse être ralenti par des considérations écologiques. Jusqu'à une date récente, les États-Unis et la Chine se sont eux aussi opposés à tout accord susceptible de limiter leur croissance. Dans ces conditions, les discussions sur le climat sont devenues une sorte de « machine à fabriquer des processus et des calendriers ». Si l'on souhaite arriver à un accord qui soit véritablement global, la question du développement économique des pays du Sud ne pourra continuer à être ainsi laissée dans l'ombre.

(1) 21^{ème} Conférence mondiale des parties à la Convention-cadre des Nations unies sur les changements climatiques (CCNUCC), également appelée Paris Climat 2015.

(2) *Responsabilité & Environnement*, n°77 (janvier 2015), « Quel accord international sur le climat en 2015 ? », coordonné par Richard Lavergne, dont le sommaire, l'éditorial, l'avant-propos et les résumés des articles sont en accès libre à l'adresse : <http://www.annales.org/re/2015/re-2015.html>

(3) Colloque « Changer avec le climat », tenu à l'initiative du Conseil général de l'économie et de l'Association française pour la prévention des catastrophes naturelles (AFPCN) en association avec l'Académie des technologies et l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC).

Le dossier de ce colloque est consultable à l'adresse : <http://afpcn.org/?s=changer+avec+le+climat> et son enregistrement vidéo à l'adresse : <http://2100.org/tv/3136/changer-avec-le-climat/>

Mais quelles solutions technologiques pouvons-nous mobiliser pour réduire les émissions de gaz à effet de serre ? Dans son analyse prospective, Olivier Appert insiste sur le fait que le temps de l'énergie est un temps long. Malgré les aides publiques importantes accordées aux énergies renouvelables dans certains pays, la part des énergies fossiles devrait durablement rester prépondérante. Dans le scénario moyen retenu par l'Agence internationale de l'énergie, cette part serait encore de 75 % en 2040 à comparer à 81 % en 1990. Des évolutions significatives peuvent certes résulter des progrès attendus pour certaines technologies clés (telles que le stockage de l'électricité, le captage et le stockage de CO₂ (CCS) ou l'utilisation du gaz, de l'électricité ou de biocarburants nouveaux dans le secteur des transports), mais d'importants efforts de R&D sont indispensables, et, quoi qu'il en soit, les évolutions prendront du temps : il n'existe pas de panacée.

Or, le changement climatique crée d'ores et déjà des situations exigeant une réponse massive et urgente. Thierry Gaudin alerte sur les dangers résultant de la multiplication des épisodes de sécheresse, qui constituent à ses yeux la plus grave menace pesant sur l'espèce humaine. Si des mesures d'une ampleur suffisante ne sont pas prises rapidement, il en résultera des flux migratoires représentant plusieurs centaines de millions d'individus. Formons le vœu que cette menace convaincre les gouvernements de prendre rapidement des mesures d'envergure, allant très au-delà de la seule réduction des émissions de CO₂ du secteur énergétique !

Thierry Gaudin préconise, entre autres mesures, la mise en place d'agences internationales pour les grands bassins hydrographiques, suivant le modèle français des agences de bassin, ainsi que la création d'organismes dédiés à la construction des infrastructures nécessaires à l'installation des migrants, en particulier dans des zones rendues habitables par le réchauffement climatique. Des propositions sont faites en ce qui concerne les moyens permettant de financer les investissements considérables qui seraient nécessaires.

L'article de Guillaume Benoit est consacré au secteur des « terres » (regroupant l'agriculture, les forêts et les sols), qui semble bien peu présent dans les négociations en cours. Pourtant, ce secteur peut contribuer de manière considérable à l'atténuation du changement climatique (de 20 à 60 % du potentiel total, selon le dernier rapport du GIEC)⁽⁴⁾, et ce, de multiples manières : les émissions de GES du secteur agricole peuvent bien entendu être réduites, les forêts et les champs jouent un rôle de puits de carbone en le stockant non seulement sous la forme de biomasse, mais également dans les sols, sous la forme de matière organique (il est fort peu connu que la couche superficielle de notre planète contient deux à trois fois plus de carbone que notre atmosphère !). En outre, des produits issus de la biomasse (bois, bio-énergies, produits de la chimie verte) peuvent être substitués à des produits conventionnels fortement émetteurs de GES.

Mais les terres n'ont pas seulement pour fonction d'absorber du carbone, elles jouent un rôle encore plus important : celui de nourrir l'humanité. Selon un rapport récent de l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), la production alimentaire devra être augmentée de 60% d'ici à 2050 si l'on veut pouvoir faire face à l'accroissement prévu de la population mondiale. Or, les perspectives apparaissent fort inquiétantes : l'artificialisation des sols se poursuit à un rythme soutenu, leur mauvaise gestion conduit à leur dégradation constante, la forêt continue d'être détruite dans bien des pays, les ressources en eau se réduisent... : si ces évolutions devaient se poursuivre, la catastrophe humanitaire et écologique qu'annonçait Thierry Gaudin deviendrait sans nul doute inévitable.

Mais l'article de Guillaume Benoit délivre aussi un grand message d'espoir : il est possible d'accroître considérablement les rendements agricoles dans les pays du Sud tout en contribuant à la lutte contre le changement climatique, en recourant à des technologies disponibles et d'ores et déjà appliquées avec succès.

Il me semble que cette perspective permet d'échapper au « dilemme du prisonnier » évoqué par François Valérian, en proposant une sorte de pari pascalien : même si les effets sur le changement climatique des investissements dans le secteur des terres sont difficiles à chiffrer, ils présentent un autre avantage, inappréciable, celui de nourrir l'humanité.

Je m'associe à Guillaume Benoit pour souhaiter que les négociateurs fassent des questions de sécurité alimentaire un des enjeux centraux de la COP21.

Cette livraison de *Responsabilité & Environnement* présente également en hors-dossier le bilan énergétique de la France pour 2014.

Changer avec le climat !

Présentation, bilan et perspectives de la journée d'étude du 30 juin 2015

Par Maud H. DEVÈS

Chercheuse à Sciences Po et à l'Institut de physique du globe de Paris, secrétaire du conseil scientifique de l'Association française de prévention des catastrophes naturelles et pilote du groupe de travail sur le climat de cette association

Introduction

La 21^{ème} édition de la Conférence des Parties (COP21) se tiendra sur le site de Paris-Le Bourget du 30 novembre au 11 décembre 2015. Les « Parties » appelées à se réunir sont les pays ayant ratifié la Convention-Cadre des Nations Unies sur les Changements Climatiques (CCNUCC), c'est-à-dire, à ce jour, la quasi-totalité des pays du monde. En tant que pays d'accueil, la France présidera aux négociations. L'objectif affiché est d'aboutir à un accord international ambitieux permettant de limiter l'augmentation de la température moyenne globale à 2°C à l'échéance 2100.

Cependant, la plupart des observateurs s'accordent à dire qu'étant donné les contingences politiques, économiques et sociales, et en l'état actuel des connaissances scientifiques, le non dépassement de cette limite des 2°C sera extrêmement difficile à respecter. On espère néanmoins que les parties prenantes sauront s'entendre sur

L'Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN) a été créée en 2001 pour prendre la suite du Comité Français de la Décennie Internationale pour la Prévention des Catastrophes Naturelles qui a été instauré dans le cadre de l'UNISDR. Justifiant du statut d'association, l'AFPCN organise des rencontres et débats, de niveau national, européen et international entre les pouvoirs publics et les membres de la société civile, sur le thème de la prévention des catastrophes naturelles. Le conseil scientifique de l'AFPCN, prévu dans le règlement intérieur du conseil d'administration, a été créé en juin 2004. Il est composé d'une vingtaine d'experts indépendants, parmi eux plusieurs sont d'origine étrangère ou sont des Français enseignant à l'étranger. Conformément à sa vocation, l'AFPCN présente une composition équilibrée entre les disciplines scientifiques relatives à la nature (les aléas) et celles traitant des phénomènes de société (la vulnérabilité, la résilience). Ses missions consistent à formuler des avis, à être force d'appui, à organiser des colloques et des séminaires, et à assurer une veille scientifique sur les risques. Les coordonnées de l'Association sont : AFPCN c/o ENGREF, 19 avenue du Maine, 75732 Paris Cedex 15 - Site internet : www.afpcn.org

la mise en œuvre de politiques climatiques audacieuses, allant dans le sens d'une diminution significative des émissions globales de gaz à effet de serre et permettant d'aborder la problématique de l'adaptation dans de bonnes conditions.

Le Conseil général de l'Économie a souhaité contribuer à l'effort de préparation de la COP21 en abordant le « problème du climat », non pas par le biais du diagnostic scientifique, mais par celui des solutions. Pour cela, il s'est rapproché de l'Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN), dont le conseil scientifique suit, depuis de nombreuses années, l'évolution de la recherche et des débats sur le climat ⁽¹⁾. Les deux partenaires ont jugé important d'associer à leurs réflexions la Commission sur l'énergie et le changement climatique (ECC) de l'Académie des technologies ⁽²⁾, et l'Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique (ONERC) ⁽³⁾.

Le présent avant-propos a pour objectif de présenter les réflexions qui ont orienté les choix du comité de pilotage ⁽⁴⁾ lors de la préparation de la journée du 30 juin 2015, la-

(1) Le conseil scientifique a mis en place un groupe de travail dédié à l'évaluation et à la gestion des risques liés au changement climatique. Après avoir organisé plusieurs séances de conférence/débat suite à la publication du 5^{ème} rapport d'évaluation du GIEC, il envisageait justement de s'intéresser aux enjeux et aux conditions de l'action contre les effets du changement climatique.

Site : <http://afpcn.org/recherche-et-expertise/changement-climatique/>

(2) La Commission sur l'énergie et le changement climatique de l'Académie des Technologies s'attache à explorer les différents volets de la transition énergétique, et ce afin de préparer la concertation nationale en cours. Le défi climatique est un de ces volets.

Site : <http://www.academie-technologies.fr/fr/commissions/ECC>

(3) L'ONERC est le point focal du GIEC en France. Rattaché au ministère de l'Écologie et du Développement durable, sa mission consiste en outre à collecter et à diffuser les informations liées au changement climatique. Il est aussi chargé de formuler des recommandations sur les mesures d'adaptation à envisager pour limiter les impacts de ce changement.

Site : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Observatoire-National-sur-les-.html>

(4) Le comité de pilotage de la journée du 30 juin 2015 était composé de Maud Devès et Paul-Henri Bourrellet, pour le conseil scientifique de l'AFPCN, de Pierre Couveinhes et François Valérian, pour le Conseil général de l'Économie, de Bernard Tardieu, en tant que président de la commission ECC de l'Académie des Technologies, et de Nicolas Bériot, en sa qualité de secrétaire général de l'ONERC.

quelle a obtenu le label officiel de la COP21. Je reviendrai également sur quelques-uns des messages clés que ce travail a permis de dégager. Les articles publiés dans ce numéro de *Responsabilité & Environnement* en développeront les aspects les plus essentiels.

Réflexions ayant guidé les travaux de la journée du 30 juin 2015

Aborder la question des solutions au « problème du climat » n'est pas trivial. Pour s'en convaincre, il suffit de se souvenir que l'adoption de la CCNUCC date de 1992. Faisant suite au premier rapport d'évaluation du Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'Évolution du Climat (GIEC), la Convention-cadre a permis de donner un cadre global à l'effort international en reconnaissant le système climatique comme une ressource partagée dont la stabilité pouvait être affectée par les émissions de gaz à effet de serre (GES) d'origine anthropique. Vingt-deux ans et cinq rapports d'évaluation plus tard, les experts estiment cependant que nous sommes encore très loin d'atteindre l'objectif ultime de la convention qui est de « stabiliser les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique », et ce, « dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable » (article 2).

Les difficultés rencontrées dans le traitement du problème climatique sont de diverses natures, mais la dimension planétaire du système climatique semble avoir joué un rôle déterminant. En donnant l'illusion d'un problème avant tout global, elle a induit une sorte de sidération fataliste, laquelle ne cesse d'entraver la mise en œuvre de solutions concrètes. Or ce « globalisme » n'est qu'apparent, car, dans les faits, le panel des acteurs concernés par les changements du climat est extrêmement divers. Tous détiennent une partie de la solution. Certes, parce qu'ils interviennent à des échelles, sur des territoires et dans des secteurs d'activité variés, leurs actions répondent à des logiques différentes, et il y a peu de chance pour qu'ils agissent spontanément de manière congruente eu égard au défi climatique. « Résoudre » le « problème du climat » requiert donc, en premier lieu, de trouver des outils qui permettent d'articuler intelligemment les différentes échelles de l'action ; c'est-à-dire des outils qui permettent de dépasser les frontières politiques, culturelles, sectorielles et institutionnelles.

La création du GIEC et la mise en place de la CCNUCC vont dans ce sens. Il aura toutefois fallu attendre plusieurs décennies avant qu'un consensus ne s'impose hors de la communauté des experts ; encore celui-ci reste-t-il relatif. Il semble raisonnable de dire que la plupart des acteurs s'accordent aujourd'hui à considérer que, quelle que soit l'ampleur effective des perturbations anthropiques, les changements du climat impacteront inévitablement nos modes d'existence - ne serait-ce que parce que les sociétés sont devenues plus sensibles et plus vulnérables

à toute forme de modification de leur environnement. Il semble également admis que, même si cela se produira à des échéances plus ou moins rapprochées selon la nature des risques envisagés, il est essentiel de développer dès à présent des stratégies de réponse et de prévention adéquates. Sur ce point, les experts du GIEC insistent sur le fait que l'effort d'atténuation (visant à la réduction des émissions de gaz à effet de serre) ne suffira pas et appellent au développement de stratégies combinant atténuation et adaptation (celle-ci visant à la diminution de l'exposition et de la vulnérabilité, à l'amélioration de la résilience).

Répondre aux enjeux liés à l'adaptation, en sus de ceux liés à l'atténuation, nécessite d'impliquer une encore plus grande diversité d'acteurs. Dans ce contexte, il est devenu particulièrement ardu d'élaborer une vision d'ensemble des solutions possibles. Il est d'ores et déjà évident qu'il n'y aura pas une solution miracle, mais qu'une multitude d'actions seront nécessaires. Conduites et articulées intelligemment, celles-ci devraient permettre d'emprunter des trajectoires plus ou moins vertueuses. Mais cette articulation est difficile à penser, car elle implique une grande variété d'acteurs travaillant à des échelles différentes et s'inscrivant dans une temporalité spécifique - le temps du climat est le temps long. *A minima*, nous savons que, pour organiser le passage entre le singulier et le pluriel et faire le pont entre hier, aujourd'hui et demain, il faut disposer de récits communs. À défaut, on voit mal comment construire un « itinéraire des solutions » qui soit en mesure de tenir compte de la diversité des dynamiques propres à chaque champ et à chaque échelle d'action tout en s'inscrivant dans un mouvement d'ensemble cohérent.

Voilà qui résume les difficultés et les enjeux entourant l'organisation d'une journée d'étude sur les « solutions » au « problème du climat » aujourd'hui. Ce n'est pas un hasard si beaucoup des manifestations organisées dans la perspective de la COP21 s'adressent à des communautés d'acteurs spécialisées : la société civile se mobilise de son côté, les industriels de l'énergie se réunissent du leur, tandis que les académiciens débattent en cercle fermé. Chaque groupe d'acteurs se confronte à la question du climat dans le cadre bien maîtrisé de ses propres récits. Malgré les efforts de la CCNUCC, il semble que nous soyons encore loin de voir émerger des « récits du futur » véritablement communs. Le GIEC fournit des éléments essentiels, mais son domaine de prédilection est le diagnostic ; et, pour ne pas envahir la sphère des négociations politiques, les experts restent relativement vagues sur le chapitre des solutions. Or, la question posée par les changements du climat est justement celle de savoir dans quelle mesure, et de quelle manière, la multitude des acteurs concernés pourront s'entendre sur un « itinéraire des solutions » d'autant plus réaliste qu'il correspondra à la mise en œuvre d'une ambition partagée.

En choisissant d'intituler cette journée d'étude « Changer avec le climat ! », le comité de pilotage a voulu marquer la nécessité d'un changement de dynamique dans la manière dont les acteurs eux-mêmes se saisissent de la question climatique. Dans cette optique, il a veillé à réu-

nir des personnalités issues d'horizons sectoriels, culturels et générationnels différents. Chercheurs, ingénieurs, étudiants, membres de l'administration, d'académies, d'établissements publics ou d'universités, d'entreprises ou d'associations de la société civile, tous ont été invités à engager une réflexion aussi ouverte et prospective que possible, avec pour seule contrainte de considérer des itinéraires combinant atténuation et adaptation.

Il a été décidé d'articuler la journée en deux grands blocs thématiques, la matinée étant consacrée aux enjeux et aux conditions de l'action et l'après-midi au cycle du carbone et à ses composés (voir le programme joint en annexe). Grands exposés et tables rondes ont été alternés de manière à respecter un certain équilibre entre visions d'ensemble et retours d'expériences.

Placée sous la présidence de Christian Kert, la matinée visait à dresser un panorama exploratoire des solutions.

Difficile d'engager un tel exercice sans commencer par parler des leviers politiques et économiques de l'atténuation. Pour cela, nous avons fait appel à François Valérian du Conseil général de l'Économie, historien et économiste, professeur associé au Conservatoire national des Arts et Métiers, en lui demandant de se projeter au-delà des négociations de décembre 2015 : peut-on évaluer l'impact économique des changements du climat ? Quels sont les biais liés aux mécanismes de taxation et de quotas ? En quoi la politique climatique de l'Europe est-elle singulière ?

Dans un second temps, nous avons souhaité aborder la question des solutions technologiques. Entre croyance aveugle dans les miracles de la science et scepticisme systématique, comment raison garder ? Au-delà des effets d'annonce, quelle est la contribution relative des différentes solutions « bas carbone » (énergies renouvelables, biomasse, nucléaire, etc.) au bilan énergétique actuel ? Quelles évolutions peut-on envisager ? Des progrès des énergies renouvelables aux enjeux du stockage de l'électricité en passant par la séquestration de CO₂, quelle est la part de défi et quelle est la part d'utopie ? Quel est le rôle joué par les subventions étatiques sur la viabilité des modèles économiques de technologies telles que le captage et le stockage du CO₂ (CCS) ? Quels sont les secteurs les plus émetteurs de gaz à effet de serre ? Olivier Appert, président du Conseil français de l'Énergie, ex-président de l'IFPEN, et membre de la Commission sur l'énergie et le changement climatique de l'Académie des Technologies, a bien voulu nous faire part de son point de vue sur ces sujets.

Dans un troisième temps, il nous a paru important d'ouvrir le débat aux enjeux de société. Nous avons préféré la formule de la table ronde à celle de l'exposé magistral, afin de laisser la place à des récits différents. Thierry Gaudin, président de Prospective 2100, a accepté de piloter l'exercice, s'entourant pour cela d'Eric Brun, chercheur à Météo France et chargé de mission auprès de l'ONERC, de Vaia Tuuhia, déléguée générale de l'association 4D, et d'Yves Le Bars, président du Comité français pour la solidarité internationale. La société civile a un rôle essentiel

à jouer dans la résolution du problème du climat. D'une part, la transformation, à l'échelle collective, des modes de production et de consommation ne peut se faire sans un profond bouleversement des comportements individuels. D'autre part, les politiques d'atténuation et d'adaptation sont toujours mises en œuvre *in fine* à l'échelle des territoires. C'est pourquoi il est crucial de s'intéresser à la manière dont les citoyens imaginent leur vie future sachant que le climat va changer - ce qu'a exploré l'association 4D - et de réfléchir à la manière dont les politiques climatiques nationales et internationales pourraient être articulées avec les initiatives de terrain. Les récits experts établis par le GIEC permettent d'opérer certains sauts d'échelle, mais le passage du constat à l'action reste difficile. On se heurte inévitablement à la question des inégalités. Toutes les populations ne sont pas égales face aux risques climatiques, ni en termes d'exposition aux aléas, ni en termes de vulnérabilité, ni en termes de capacités d'adaptation. Un exemple est la raréfaction des ressources en eau potable. C'est un enjeu qui concerne plus particulièrement certains territoires, mais qui peut devenir un problème régional voire global si, comme certains le supposent, le manque d'eau potable induit des mouvements migratoires massifs. L'inégalité géographique ne touche pas que les populations humaines, elle impacte également les écosystèmes. Le défi climatique s'articule donc intimement avec ces autres défis que sont la lutte pour le développement humain et celle pour la préservation de la biodiversité.

La séance de l'après-midi, présidée par Guillaume Benoit du Conseil général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces ruraux (CGAAER), avait pour ambition d'établir un lien entre les connaissances scientifiques sur le cycle du carbone et trois champs d'action possibles. Les zones d'interaction entre le cycle du carbone et les activités humaines sont autant de fenêtres d'action possibles pour réguler les déséquilibres induits par les activités humaines. Nous avons choisi de nous intéresser à la zone, particulièrement critique, qui s'étend du sous-sol aux sols mobilisés à des fins agricoles et forestières. Celle-ci est symptomatique de la complexité des interactions à l'œuvre entre le système naturel et le système humain. Elle illustre bien le contexte d'incertitude dans lequel se place le processus de décision sur la question climatique, tout en montrant qu'il existe des opportunités à ne pas manquer. En dépit de son importance, elle est pourtant assez peu présente dans les débats actuels qui lui préfèrent en général des questions plus « urbaines », comme les transports ou la rénovation des bâtiments.

Nous avons invité Philippe Ciais, chercheur au Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement, à présenter brièvement le diagnostic scientifique établi par le GIEC sur le fonctionnement du cycle du carbone. Trois tables rondes ont été programmées ensuite, qui ont servi de cadre à une réflexion très concrète sur l'articulation entre diagnostic scientifique, enjeux politiques et économiques, et filières et territoires.

La première table ronde, pilotée par Guillaume Benoit, réunissait Jean-François Soussana de l'Institut national de

la recherche agronomique, David Crespo, fondateur de l'entreprise Fertiprado, et Bernard Tardieu de l'Académie des Technologies. Elle était dédiée à l'utilisation des sols pour l'agriculture et l'élevage face au double enjeu du défi climatique et de la sécurité alimentaire. Le sujet est d'autant plus complexe que les territoires concernés sont encore une fois très inégaux, aussi bien en termes de qualité des sols que de ressources en eau, ou bien encore quant à leur capacité de résistance aux impacts des changements du climat. Dans quelle mesure une transformation des usages pourrait-elle permettre de réduire le carbone en excès, que ce soit par stockage ou par substitution ? Est-on capable aujourd'hui de procéder à des inventaires chiffrés ? Quels scénarios imaginer qui combindraient atténuation et adaptation ? Le CO₂, molécule autour de laquelle se cristallisent les négociations internationales, est-il la seule molécule importante à considérer ? Qu'en est-il par exemple du méthane ?

La seconde table ronde, consacrée aux forêts et à la filière bois, était pilotée par Jean-Luc Peyron du GIP ECOFOR et réunissait Antoine Colin de l'IGN et Estelle Vial de l'Institut technologique FCBA. Les forêts agissent comme des puits de carbone, mais elles fournissent aussi du bois qui peut servir de matériau de substitution. Se pose là encore la question de trouver un équilibre entre effet de stockage et effet de substitution, dans un contexte où il semble particulièrement difficile de réaliser des inventaires exhaustifs.

La dernière table ronde, pilotée par Didier Bonijoly du BRGM, était dédiée à la séparation, la séquestration et la valorisation du CO₂ et réunissait Anne de Béthencourt de la Fondation Nicolas Hulot, Daniel Clément de l'ADEME, Valérie Czop d'EDF et François Clin du BRGM. Peut-on intégrer le carbone dans un modèle d'économie circulaire ? Les efforts réalisés par les industriels de la filière de séquestration du CO₂ sont indéniables, mais ils s'avèrent peu rentables dans le contexte économique et politique actuel. S'agit-il de la seule voie d'avenir ? Quelles sont les perspectives ouvertes par l'ingénierie chimique ?

Perspectives

S'il ne fallait retenir que quelques-uns des nombreux messages de la journée du 30 juin 2015, on pourrait retenir les suivants.

- Il est difficile d'évaluer l'impact économique exact des changements du climat, mais le coût de l'inaction peut s'avérer élevé alors qu'une action raisonnée permettra toujours de dégager des co-bénéfices.
- Il est important de prendre conscience du fait qu'en raison de la forte dépendance de l'économie mondiale vis-à-vis des énergies fossiles, la transition vers une énergie bas carbone prendra du temps.
- Il ne faut pas s'attendre à ce qu'une solution technologique soit capable à elle seule de résoudre miraculeusement le « problème du climat », mais l'investissement dans la recherche et l'innovation doit permettre de mieux anticiper les changements à venir et de diversifier le panel des solutions envisageables. À cet égard, le stoc-

kage de l'électricité est un enjeu technologique majeur, tandis que l'ingénierie chimique semble être en mesure d'ouvrir à terme des perspectives intéressantes.

- Les « itinéraires de solutions » passent par une transformation des usages dans différents secteurs. Le « secteur des terres » (AFOLU en anglais : *Agriculture, Forestry and Other Land Use*) est un champ d'action déterminant tant du point de vue de l'atténuation que de l'adaptation.

On peut se féliciter du fait que la conférence ait atteint son objectif de transversalité. Accueillie dans le Centre de conférence Pierre Mendès-France à Bercy, elle a été ouverte et clôturée par un représentant du ministre de l'Économie, de l'Industrie et du Numérique (Luc Rousseau, vice-président du Conseil général de l'Économie), un représentant de la ministre de l'Écologie et du Développement durable (Pascal Dupuis, chef du service Climat et Efficacité énergétique) et un représentant de l'Assemblée nationale (Christian Kert, qui est également le président de l'AFPCN). Elle s'est déroulée devant une assistance composée d'environ 80 personnes issues d'horizons variés : membres du Conseil général de l'Économie, du Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, du Conseil général de l'Agriculture, membres de l'AFPCN et de ses institutions partenaires, mais aussi scientifiques, experts, professionnels de la gestion des risques, représentants du monde associatif et de la société civile, élus locaux ou encore étudiants.

Quelques jours plus tard, s'est tenue la conférence scientifique de la COP21. L'intitulé choisi par les organisateurs, « Notre avenir commun face au changement climatique », soulignait lui aussi l'importance d'inscrire « le problème climatique » dans le récit d'un avenir commun. La conférence scientifique de la COP21 a montré l'extraordinaire diversité des approches actuellement développées par les chercheurs et a confirmé la pluralité des solutions. Elle a été aussi l'occasion d'interroger la pertinence de la formulation actuelle du « problème du climat ». De plus en plus d'observateurs considèrent en effet que l'institutionnalisation de la question climatique en a gêné la résolution. Leur raisonnement est le suivant : si la création du GIEC et la mise en place de la Convention internationale sur le changement climatique ont eu le mérite d'inscrire le « problème du climat » à l'ordre du jour des négociations internationales, ils ont eu pour effet pervers d'enclaver la question climatique en l'isolant, un peu artificiellement, d'autres questions qui lui sont pourtant corrélées, comme celles des modes de production et de consommation, du développement, de l'utilisation des ressources et des politiques énergétiques des pays. En d'autres termes, il se peut qu'en ayant pensé, dès l'origine, le problème du climat à l'échelle globale, on ait fait abstraction des enjeux et des conditions de l'action à l'échelle nationale et locale. Avancer dans le traitement du « problème du climat » peut alors consister à inventer des stratégies politiques globales tout en gardant à l'esprit que celles-ci ne deviendront effectives qu'en s'inscrivant dans le maillage complexe des acteurs concernés, qui est avant tout ancré dans les territoires. En quelque sorte, il s'agit de nous autoriser à rêver, tout en restant pragmatiques...

En ayant permis à des acteurs venant d'horizons différents de se réunir pour échanger, la journée du 30 juin 2015 aura été l'occasion de faire un pas dans cette direction. Espérons que la publication de ce numéro de *Responsabilité & Environnement* permettra à ces ébauches de « récits du futur » communs de faire leur chemin. De son côté, l'AFPCN continue à travailler sur ces questions et prépare déjà plusieurs autres manifestations, dont une conférence-débat au sein des espaces Générations climat de la COP21 qui se déroulera le 8 décembre 2015. Celle-ci sera dédiée à l'intégration de la question clima-

tique dans le cadre de la gestion des risques au travers de l'exemple concret des risques littoraux. Le groupe de travail du conseil scientifique ouvrira ensuite un cycle de réflexion sur la question de l'eau. En parallèle à ces travaux, l'AFPCN poursuit depuis plusieurs années une réflexion sur l'organisation de l'expertise sur le climat, qui a donné lieu à la diffusion d'un rapport en 2014. À l'issue de la COP21, il proposera une série de recommandations sur l'évolution future de l'expertise. La journée du 30 juin aura permis de poser des jalons supplémentaires à cette réflexion.

PROGRAMME

- 8h30 Accueil des participants
 9h00 Introduction à la journée par Luc Rousseau, vice-président du Conseil général de l'Économie, et Christian Kert, président de l'Association française pour la prévention des catastrophes naturelles.

LES ENJEUX ET CONDITIONS DE L'ACTION Présidence Christian KERT

9h45 - 10h15

- **Les leviers économiques et les politiques publiques du changement climatique**

Exposé de François Valérian (CGE) - Questions / réponses

10h15 - 10h45

- **Une vision technologique**

Exposé d'Olivier Appert (président du Conseil français de l'Énergie) - Questions / réponses

10h45 - 11h00 Pause

11h00 - 12h00

- **Où en est la prospective du 21^{ème} siècle**

Table ronde pilotée par Thierry Gaudin (CGE, Prospective 2100) avec la participation d'Eric Brun-Barrière (ONERC, MEDDE), Moussa Mbaye (ENDA), et Vaia Tuuhia (4D)

Débat avec la salle

12h00 - 13h30 Déjeuner libre

LE CYCLE DU CARBONE ET SES COMPOSÉS : TROIS EXEMPLES CONCRETS DE CHAMPS D'ACTION Présidence Guillaume BENOIT

13h30 - 14h00

- **Actions de réduction et projections des concentrations atmosphériques de CO₂**

Exposé de Philippe Ciais (LSCE) - Questions / réponses

14h00 - 15h00

- **Sols, agriculture, élevage et sécurité alimentaire**

Table ronde pilotée par Guillaume Benoit (Conseil général de l'Agriculture) avec la participation de David Crespo (président de Fertiprado), Jean-François Soussana (INRA), et Bernard Tardieu (Académie des technologies)

Débat avec la salle

15h00 - 15h30 Pause

15h30 - 16h30

- **Changer avec le climat : un enjeu majeur pour la forêt et le bois**

Table ronde pilotée par Jean-Luc Peyron (GIP ECOFOR) avec la participation d'Antoine Colin (IGN), et Estelle Vial (Institut technologique FCBA)

Débat avec la salle

16h30 - 17h30

- **Séparation, séquestration et valorisation du CO₂**

Table ronde pilotée par Didier Bonijoly (BRGM) avec la participation d'Anne de Bethencourt (Fondation Nicolas Hulot), Daniel Clément (ADEME), François Clin (BRGM), et Valérie Czop (EDF)

Débat avec la salle

17h30 - 18h00

Réflexions de clôture par Laurent Michel, direction générale de l'Énergie et du Climat, MEDDE.

Remarques économiques et historiques sur les enjeux de la négociation climatique à venir ⁽¹⁾

Par François VALÉRIAN

Conseil général de l'Économie, professeur associé de finance au Conservatoire national des arts et métiers

Après un bref retour sur les principaux éléments du consensus au sujet du changement climatique, les outils économiques disponibles pour l'atténuation de ce changement sont passés en revue, avec leurs limites et les problèmes théoriques qu'ils posent. La question du financement de l'atténuation est abordée sous l'angle des évaluations disponibles, mais aussi en évoquant quelques mécanismes proposés et, surtout, en la resituant dans la géopolitique des négociations. Cette géopolitique permet en effet d'apprécier la singularité européenne en matière de politique publique de lutte contre le changement climatique, et de mieux définir les marges de manœuvre de l'Europe lors de la Conférence de Paris de décembre 2015 (COP21).

Le changement climatique est un sujet complexe que l'on peut examiner à la fois sous ses aspects scientifique, politique et économique, voire éthique, chacun de ces domaines contenant eux-mêmes une variété de points de vue. De plus, le point de vue choisi dans les domaines scientifique ou politique oriente évidemment le regard économique : si l'on considère que le changement climatique est entièrement imputable à l'Occident, on peut être tenté de lui en présenter la facture : nous reviendrons plus tard sur cette opinion extrême, que nous utilisons ici comme illustration de l'interdépendance entre science, politique et économie.

L'approche retenue est à la fois économique et historique. Nous commencerons par une esquisse d'approche théorique de l'économie du changement climatique, qui, peut-être, montrera surtout la difficulté du sujet. Nous tenterons ensuite un bilan de ce qui a été accompli en matière de politique du changement climatique depuis le tournant des années 1990, en insistant sur la singularité européenne. Nous terminerons par une réflexion sur la mécanique des conférences annuelles et les perspectives de celle qui se tiendra à Paris, en décembre de cette année.

Esquisse d'une approche théorique de l'économie du changement climatique

Nous reviendrons sur les principaux éléments de ce que nous nous proposons d'appeler le consensus sur le changement climatique, avant d'examiner les outils écono-

miques disponibles pour l'atténuation de ce changement et d'aborder la question du financement de cette atténuation et de l'adaptation à ce changement.

Ce que nous appelons ici consensus n'est pas un accord unanime de tous les scientifiques intéressés par le sujet, mais l'accord recherché par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution climatique (GIEC) sur les textes des rapports qu'il publie, accord entre les représentants de tous les pays. Ce consensus climatique n'a pas davantage force de loi qu'aucun autre corpus d'affirmations scientifiques, et l'on peut continuer à en discuter les différents aspects, puisque c'est le propre de toute affirmation scientifique, comme le soulignait Karl Popper, que de pouvoir être contredite.

On peut tirer du long rapport de synthèse publié par le GIEC à la fin de l'année dernière les trois principales conclusions de ce groupe sur le lien de cause à effet entre l'activité humaine et le changement climatique : « *chacune des trois dernières décennies a été plus chaude à la surface de la Terre que n'importe quelle décennie pré-*

(1) Le présent article a fait l'objet d'une communication lors de la journée « Changer avec le climat ! » organisée le 30 juin 2015 par le Conseil général de l'Économie et l'Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN).

(2) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, PACHAURI (R.K.) and MEYER (L.A.) (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p., p. 40.

cédente depuis 1850 »⁽²⁾, « il est extrêmement probable que plus de la moitié de l'augmentation observée dans la température moyenne globale de surface de 1951 à 2010 a été causée par l'augmentation anthropogène des concentrations en gaz à effet de serre en même temps que par d'autres pressions anthropogènes »⁽³⁾ et, enfin, « des changements dans de nombreux événements météorologiques et climatiques extrêmes ont été observés depuis les alentours de 1950. Certains de ces changements ont été reliés aux influences humaines, et l'on peut citer parmi ces changements une diminution des températures froides extrêmes, une augmentation des températures chaudes extrêmes, une augmentation des niveaux de mer extrêmes et une augmentation dans le nombre de fortes précipitations dans un certain nombre de régions »⁽⁴⁾.



Photo © GIEC

« On peut tirer du long rapport de synthèse publié par le GIEC à la fin de l'année dernière les trois principales conclusions de ce groupe sur le lien de cause à effet entre l'activité humaine et le changement climatique. »

La mission du GIEC est de produire une connaissance qui soit *policy relevant*, qui serve la définition d'une politique, et les rapports du GIEC s'efforcent donc de traduire les conclusions climatiques globales en des relations simples à expliquer entre la concentration de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et la température moyenne globale. Selon le rapport de 2013 du groupe de travail 1 du GIEC (celui sur les bases scientifiques), la concentration du dioxyde de carbone (CO₂) dans l'air sec de l'atmosphère était en 2011 de 391 parties pour million (ppm), en augmentation de 40 %, soit de 112 ppm, par rapport au ni-

veau de 1750⁽⁵⁾. Or, sur les 112 ppm d'accroissement depuis l'époque préindustrielle, 72 ppm ont été constatées sur cinquante ans, depuis 1960. La fraction de 391 ppm correspond à un montant estimé de 1 890 Gt de CO₂ déjà émis en 2011⁽⁶⁾. L'augmentation a été de 12 ppm sur sept ans, de 2005 à 2011. Selon les projections du GIEC, dans les scénarios sans effort particulier de réduction des émissions carbonées, la concentration de CO₂ passerait du niveau constaté en 2011 de 391 ppm à un niveau compris entre 750 et 950 ppm en 2100. Dans ces scénarios-là, la température moyenne devrait, selon le GIEC, avoir probablement augmenté en 2100 de plus de 2°C par rapport à la moyenne des années 1850 à 1900, soit 1,2°C de réchauffement par rapport à aujourd'hui. Un tel réchauffement ne deviendrait improbable qu'avec un scénario qui stabiliserait la concentration à 450 ppm en 2100⁽⁷⁾, alors qu'au rythme actuel, ce niveau serait atteint dès 2050.

Voici donc posés les termes du problème climatique, avec une première question : quelle est l'importance de ce seuil de 2°C ? Il s'agit là d'un seuil dont la production a mobilisé de nombreuses parties prenantes, point toutes scientifiques. Ce seuil n'est consacré que tardivement dans la succession des conférences climatiques, puisqu'il n'est mentionné comme objectif des parties que dans l'accord de Copenhague, en 2009. Il précède en fait, de manière intéressante, la prise de conscience scientifique du changement climatique, puisqu'il apparaît sans démonstration dans un livre préparatoire à la conférence de Stockholm tenue en 1972⁽⁸⁾. Le chiffre refait son apparition en 1995 dans le deuxième rapport du GIEC, dont le scénario moyen prévoyait alors un réchauffement de 2°C en 2100. Il s'agissait alors d'un réchauffement prévisible, mais la même année, à l'occasion de la première COP à Berlin, l'institut allemand WBGU publie un rapport qui appelle à ne pas dépasser la température moyenne maximale qu'aurait connue la vie sur Terre dans les derniers cent vingt mille ans, soit 16,6°C, ce qui correspond à 1,3°C de plus qu'aujourd'hui et environ 2°C de plus que la moyenne de la période 1850-1900⁽⁹⁾. L'année suivante, en 1996, le conseil des ministres de l'Union européenne redéfinit ce seuil comme un *seuil de réchauffement à éviter* et, depuis lors, ce seuil s'impose progressivement comme seuil dangereux, jusqu'à sa consécration dans la déclaration du G8 à L'Aquila, en 2009, et dans l'accord de Copenhague, la même année.

(3) Ibidem, p. 48.

(4) Ibidem, p. 53.

(5) IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [STOCKER (T.F.), QIN (D.), PLATTNER (G.-K.), TIGNOR (M.), ALLEN (S.K.), BOSCHUNG (J.), NAUELS (A.), XIA (Y.), BEX (V.) and MIDGLEY (P.M.) (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 p., p. 11.

(6) Ibidem, p. 27.

(7) Ibidem, p. 20. IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report..., op. cit., p. 74.

(8) DUBOS (René) & WARD (Barbara), Only One Earth, 1972.

(9) German advisory council on global change (WBGU), Scenario for the derivation of global CO₂ reduction targets and implementation strategies, 1995.

Ce seuil dangereux, dont nous savons que nous l'atteindrons probablement dans une trentaine d'années, est-il associé à des impacts précisément évalués ?

Des impacts difficiles à évaluer financièrement et à actualiser

Le rapport 2014 du groupe 2 du GIEC détaille les impacts probables du changement climatique en tentant de les répartir par grandes régions du monde, mais les connaissances sont manifestement à ce stade trop imprécises, et les systèmes concernés trop complexes, pour qu'un chiffrage et un échéancier puissent être établis. Certains impacts peuvent d'ailleurs être considérés comme positifs, selon le point de vue, et surtout selon la région du monde où l'on se place : il n'est pas sûr que la fonte estivale de l'océan glacial arctique, attribuée par le GIEC de manière hautement probable au changement climatique, soit une mauvaise chose pour l'économie russe...⁽¹⁰⁾

L'absence de chiffrage et d'échéancier des impacts interdit évidemment, si l'on veut rester rigoureux, le calcul de rentabilité économique appliqué aux politiques d'atténuation du changement climatique. On ne peut en effet calculer la rentabilité de telles politiques qu'en mettant en balance, dans un calcul d'actualisation, les investissements et les dépenses nécessaires, d'une part, et les gains obtenus ou les coûts évités, d'autre part. C'est possible pour certains investissements, pour des raisons souvent indépendantes du changement climatique, ce n'est pas possible pour d'autres.

Cette difficulté de calcul induit évidemment un comportement de passager clandestin : il vaut mieux laisser faire par d'autres un investissement certain, mais au bénéfice très incertain que l'on recueillera peut-être soi-même. Or, si chacun fait ce raisonnement, on risque l'inaction généralisée décrite en théorie des jeux par le dilemme du prisonnier, et c'est le risque permanent d'enlèvement des négociations climatiques. On sort du dilemme du prisonnier par l'action collective. Mais encore faut-il avoir fait la preuve, dans un système largement probabiliste, que le coût global de l'inaction était supérieur au coût global de l'action. Cette preuve, en fin de compte, me paraît ne pouvoir être apportée que si le bénéfice de la lutte contre le changement climatique, même incertain, est d'une autre nature que l'investissement lui-même, et l'on est là dans le pari de Pascal. Une dépense certaine vaut d'être faite si le gain, même incertain, est un temps très long de dé-

veloppement pour la planète, un temps incommensurable avec le temps humain.

Il faut donc introduire ici un élément de conviction. Si l'on considère que des objectifs ambitieux de limitation des émissions carbonées doivent être poursuivis de manière à ne point trop dépasser les 2°C de réchauffement, différents outils de politique économique sont à la disposition des décideurs.

Les outils économiques disponibles pour l'atténuation

Il existe trois grandes catégories d'outils disponibles pour atténuer la part de changement climatique dont l'origine est l'émission de carbone par les activités humaines. Des outils réglementaires limitent ou interdisent certaines activités, souvent quand elles sont par ailleurs polluantes, mais ils ne sauraient former les outils essentiels pour transformer une économie mondiale dont la dépendance au carbone est encore très forte. Les deux autres catégories agissent, l'une sur les prix, l'autre sur les volumes des émissions carbonées.

Agir sur les prix des émissions carbonées, c'est agir sur leurs prix relatifs par rapport à des techniques ou des matières premières de substitution. On peut donc mettre en place une taxe carbone, ou encore diminuer les subventions éventuelles au carbone, et l'on peut aussi encourager par des subventions ce qui vient en substitution au carbone (ce que l'on fait, par exemple, pour les énergies renouvelables). Agir sur les volumes, c'est fixer à une région du monde un quota à ne pas dépasser, quota réparti entre les acteurs économiques de cette région, qui organisent ensuite entre eux un marché où les acteurs ayant dépassé leurs quotas achètent des droits d'émission supplémentaires à ceux qui sont en-deçà de leurs quotas.

Les débats entre économistes ont été abondants, ces dernières décennies, sur le choix entre outils de prix et outils de volume. L'article fondamental sur le sujet précède la prise de conscience du changement climatique, puisqu'il fut écrit en 1974 par Martin Weitzman⁽¹¹⁾. S'il y avait information parfaite sur les fonctions de demande et de production de biens carbonés dans le monde entier, ce qui n'est évidemment pas le cas, les prix et volumes d'équilibre résulteraient de l'optimisation du profit égalisant revenu marginal et coût marginal. L'outil de prix, qu'il s'agisse d'une taxe à la production, d'une subvention à la substitution ou d'une combinaison des deux, permettrait d'augmenter le prix d'équilibre et de diminuer le volume d'équilibre, exactement comme le ferait la fixation d'une quantité inférieure à la quantité observée avant intervention. En l'absence d'information parfaite sur les fonctions de demande et de production des biens carbonés, Weitzman démontre que l'incertitude de quantité suscitée par le recours à un instrument de prix est plus faible, et que donc l'instrument de prix doit être privilégié si la pente de coût marginal est plus forte que la pente de revenu marginal. À l'inverse, l'incertitude de prix suscitée par le recours à un instrument de volume est plus faible, et donc l'instrument de volume doit être privilégié, si la pente de revenu

(10) IPCC, 2014: *Summary for policymakers*. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects*. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [FIELD (C.B.), BARROS (V.R.), DOKKEN (D.J.), MACH (K.J.), MASTRANDREA (M.D.), BILIR (T.E.), CHATTERJEE (M.), EBI (K.L.), ESTRADA (Y.O.), GENOVA (R.C.), GIRMA (B.), KISSEL (E.S.), LEVY (A.N.), MACCRACKEN (S.), MASTRANDREA (P.R.), and WHITE (L.L.) (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32, p. 32.

(11) WEITZMAN (M.), "Prices vs. Quantities", *Review of Economic Studies* 41(4), 447-91, 1974.

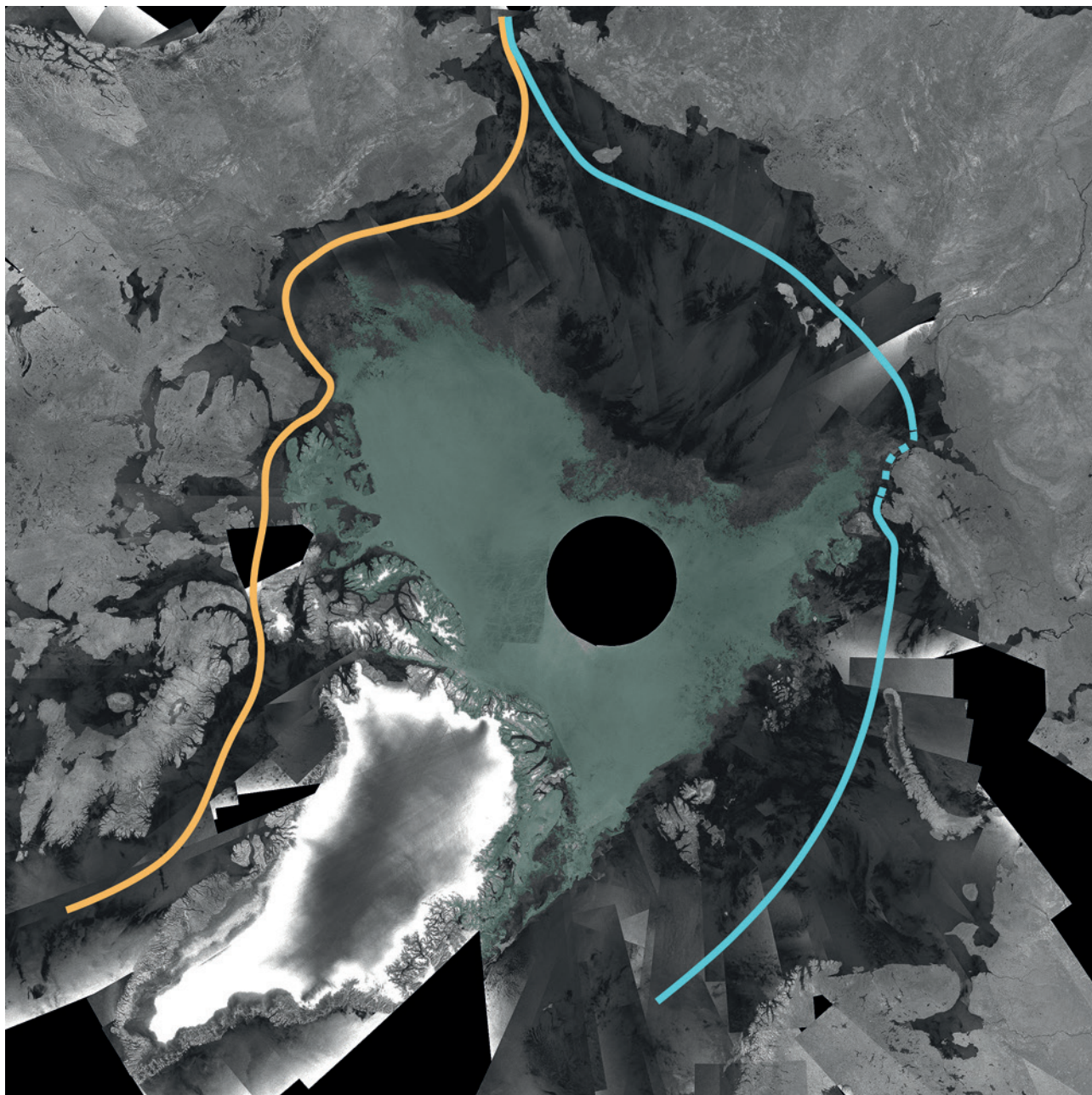


Photo © BIOSPHOTO-ESA-SCIENCE PHOTO LIBRARY

Ouverture du passage Nord-ouest de l'océan Arctique du fait du changement climatique.

« Certains impacts du changement climatique peuvent d'ailleurs être considérés comme positifs, selon le point de vue, et surtout selon la région du monde où l'on se place : il n'est pas sûr que la fonte estivale de l'océan glaciaire arctique, attribuée par le GIEC de manière hautement probable au changement climatique, soit une mauvaise chose pour l'économie russe... »

marginal est plus forte que la pente de coût marginal. Pour formuler les choses de manière simple : si le coût de la tonne d'émission carbonée évitée augmente très vite au fur et à mesure que l'on réduit les émissions carbonées, il vaut mieux agir sur le prix du carbone ; en revanche, si le revenu des producteurs diminue très vite au fur et à mesure que l'on réduit les émissions carbonées, alors il vaut mieux fixer un seuil d'émission.

Malheureusement, et en dépit des nombreux travaux sur le sujet, la complexité et le nombre des activités économiques en cause empêchent de tirer du théorème de

Weitzman des conclusions simples pour les politiques d'atténuation du changement climatique.

Si l'on ne peut juger aisément de l'efficacité comparée des outils, on peut à tout le moins évoquer les limites respectives des outils de prix et des outils de volume.

La taxe présente l'inconvénient de toutes les taxes, en ce qu'elle constitue un prélèvement sur un secteur de l'économie et ne crée de surplus économique que si elle est investie pour créer davantage de surplus que ce qu'elle a détruit. La subvention, à l'inverse, ne se justifie économiquement que si le surplus économique créé fait plus

que compenser ce qu'a détruit l'impôt qui la finance. La combinaison entre taxe et subvention organise un transfert d'un secteur carboné à un secteur décarboné - un transfert qui doit être aussi jugé, indépendamment des objectifs climatiques, en fonction du surplus qu'il détruit et du surplus qu'il crée.

Quant aux outils de volume, ils présentent l'inconvénient, selon la manière dont les objectifs et années de référence sont choisis, d'être trop ambitieux ou de ne pas l'être assez. Si les deux marchés, mondial et européen, des permis d'émission n'ont pas fonctionné de manière satisfaisante jusqu'à présent, c'est parce que leurs objectifs n'étaient pas assez ambitieux. En effet, pour des raisons connues des promoteurs du mécanisme mondial de Kyoto, mais inconnues des promoteurs du marché européen, les années de référence dans les deux cas se sont révélées être des années de très hautes émissions carbonées : 1990, l'année de référence de Kyoto, fut aussi l'une des dernières années de plein fonctionnement de l'industrie socialiste hautement carbonée en Europe orientale, et les quotas d'émission fixés en Europe avant la crise de 2008 furent dans l'ensemble aisément respectés.

Une fausse bonne idée : le financement par les banques centrales

Face à la faible efficacité des marchés de permis d'émission, une nouvelle proposition s'est faite jour, qui consiste à toujours agir sur les volumes, mais avec l'intervention d'un acheteur public qui garantisse le prix de l'émission carbonée évitée⁽¹²⁾. Il convient de s'attarder un moment sur cette idée, assez révélatrice d'une évolution récente du débat sur l'économie du changement climatique. Le mécanisme proposé consiste à faire en sorte que des banques centrales puissent garantir l'achat de la tonne d'émission évitée, à un prix tel qu'il rendrait rentables les investissements de décarbonation dans les volumes jugés nécessaires pour atténuer le changement climatique. Les promoteurs de l'idée évoquent l'effort important consenti depuis plusieurs années par les banques centrales du Nord pour maintenir en fonctionnement les marchés secondaires de dette, et considèrent que l'argent des banques centrales, ou leur création monétaire implicite, seraient mieux employés à soutenir la décarbonation. Or, c'est ne pas voir un point important : les interventions d'une banque centrale sur les marchés ne sont jamais sans risque, et les pertes éventuelles retombent sur les États et leurs contribuables. Cela est vrai du *Quantitative Easing*, au risque d'une remontée des taux, et c'est encore plus vrai d'interventions massives pour acheter des permis d'émission dont la valeur financière n'existerait pas en dehors de leur achat par les banques centrales. Il est très peu probable que ces interventions permettent de créer un marché qui est quasi inexistant aujourd'hui et, par contre, il est très probable que de nombreux investissements pourraient être ainsi financés, mais par des interventions qui, faute de marché liquide, devraient être portées pour zéro à l'actif des banques centrales et représenteraient ainsi une perte intégrale à financer par les États et leurs contribuables. L'idée de créer à partir de

ces interventions une monnaie nouvelle paraît, pour les mêmes raisons, tout à fait illusoire, et je crois qu'il vaudrait mieux dire ouvertement que l'on souhaite faire financer l'atténuation du changement climatique directement par les États d'un certain nombre de pays, peut-être ceux-là mêmes qui pratiquent déjà le *Quantitative Easing* : donc, ceux du Nord.

A-t-on pour autant une idée du montant total à financer ?

La question du coût de l'atténuation

Il est impossible de trouver dans le rapport 2014 du groupe de travail 3 du GIEC une estimation du coût global d'une atténuation du changement climatique qui soit compatible avec la stabilisation à 2°C de l'augmentation de la température en 2100. Les tableaux présentés sont d'une compréhension très malaisée, mais ils semblent pourtant donner pour résultat un investissement supplémentaire net annuel de 453 milliards de dollars constants sur la période 2010-2029, et de 629 milliards de dollars constants sur la période 2030-2049⁽¹³⁾, soit une moyenne entre les deux périodes d'environ 540 milliards de dollars constants par an, soit 0,7 % du PIB mondial actuel. Un tel pourcentage n'est pas insignifiant, surtout si l'investissement mondial devait reposer principalement sur les régions du monde dont la croissance est la plus faible, comme l'Europe et l'Amérique du Nord. D'autres rapports évoquent plusieurs milliers de milliards de dollars par an, sans qu'il soit toujours facile de comprendre s'il s'agit d'investissements supplémentaires nets ou d'investissements à réorienter.

La rentabilité de cet investissement supplémentaire est difficile à établir. Nous avons déjà évoqué la difficulté qu'il y avait à justifier économiquement ce type d'investissement par des impacts évités, et nous sommes donc contraints pour cela de faire appel au concept d'« économie verte ». Or, ce concept, largement répandu en Europe et Amérique du Nord, est loin de convaincre les pays du Sud. Lors de la conférence « Rio + 20 », en 2012, ces derniers ont critiqué cette notion comme importée du Nord et de nature à freiner leur croissance. Ils s'inscrivaient ainsi dans une longue continuité avec le discours prononcé par Indira Gandhi lors de la conférence de Stockholm, en 1972, soit bien avant la prise de conscience du changement climatique : seule compte l'économie qui permet de lutter contre la pauvreté, point n'est besoin de la verdir.

(12) Voir AGLIETTA (M.) & HOURCADE (J.C.), "Can Indebted Europe Afford Climate Policy? Can it Bail out its Debt without Climate Policy?", in *Intereconomics* 3, pp. 159-164, *idem*, 2012 a ; « Un mécanisme pour la relance verte », in *Le Monde*, 14 juin, 2012 b ; HOURCADE (J.C.) & SHUKLA (P.), "Triggering the Low-carbon Transition in the Aftermath of the Global Financial Crisis", in *Climate Policy*, 13 (1), pp. 22-35, 2013.

(13) IPCC, 2014: Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [EDENHOFER (O.), PICHES-MADRUGA (R.), SOKONA (Y.), FARAHANI (E.), KADNER (S.), SEYBOTH (K.), ADLER (A.), BAUM (I.), BRUNNER (S.), EICKEMEIER (P.), KRIEMANN (B.), SAVOLAINEN (J.), SCHLÖMER (S.), VON STECHOW (C.), ZWICKEL (T.) and MINX (J.C.) (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1218-1220.



Photo © Yukata Nagata/ UN

Mme Indira Gandhi, Premier ministre de l'Inde, prononçant un discours lors de la Conférence de Stockholm, juin 1972.

« Lors de la conférence « Rio + 20 », en 2012, les pays du Sud ont critiqué la notion d'« économie verte » comme importée du Nord et de nature à freiner leur croissance. Ils s'inscrivaient ainsi dans une longue continuité avec le discours prononcé par Indira Gandhi lors de la conférence de Stockholm, en 1972, soit bien avant la prise de conscience du changement climatique : seule compte l'économie qui permet de lutter contre la pauvreté, point n'est besoin de la verdir. »

Il est à noter que même dans les pays du Nord, la notion d'« économie verte » doit faire l'objet d'analyses économiques approfondies, sur le modèle de l'étude publiée en 2012 par le CGEDD et le CGE sur les énergies renouvelables ⁽¹⁴⁾. La clé de voûte de ces analyses est que la création d'emplois ne justifie un investissement que dans la mesure où son financement fiscal ne détruit pas davantage d'emplois dans le reste de l'économie.

Nous avons ici principalement parlé d'atténuation. L'adaptation, protéiforme, est encore plus difficile à évaluer, mais elle pose des problèmes éthiques liés, par exemple, à l'accueil nécessaire des migrants climatiques.

Les débats sur l'économie du changement climatique ne sont pas que théoriques. Ils s'inscrivent dans l'histoire des négociations climatiques et des politiques supranationales ou nationales, sur laquelle il convient de revenir

pour mieux évaluer les marges de manœuvre de l'Europe lors de la conférence de Paris.

Les politiques climatiques depuis le tournant des années 1990 : une singularité européenne

Ce qui frappe dans les politiques climatiques depuis le tournant des années 1990, c'est la singularité européenne. Il n'est pas certain, au vu de ses latitudes géographiques, que l'Europe soit la région du monde potentiellement la plus affectée par les impacts négatifs du changement climatique. C'est depuis plusieurs décennies la région du monde dont la croissance économique est la plus faible et, pourtant, c'est la région du monde qui a, de loin, consenti le plus d'efforts dans la mise en œuvre d'une politique climatique souvent considérée comme exemplaire. Il convient, pour mesurer la singularité européenne, de s'interroger sur la relation au changement climatique du pays qui a été le principal émetteur de carbone, les États-Unis, avant de revenir sur la politique européenne et d'analyser rapidement la position de l'Europe dans une géopolitique du climat qui ne lui est pas toujours favorable.

(14) Conseil général de l'Économie, Inspection générale des Finances & Conseil général de l'Environnement et du Développement durable, Éolien et photovoltaïque : enjeux énergétiques, industriels et sociétaux, 2012.

La relation complexe des États-Unis au changement climatique

La relation des États-Unis au changement climatique est complexe. Les Européens aiment évoquer l'article du suédois Arrhenius, publié en 1896, au sujet de l'influence de l'acide carbonique sur la température de la Terre ⁽¹⁵⁾, ou même la *Théorie analytique de la chaleur* publiée par Joseph Fourier en 1822. Mais, comme en bien des domaines, si les idées ont été formulées en Europe, c'est aux États-Unis qu'elles ont été mises en œuvre. Il existe une préhistoire américaine de la science climatique actuelle, et cette préhistoire est indissociable de la Guerre froide : avant de s'inquiéter du changement climatique, on s'est demandé comment l'homme, ou comment une superpuissance, pouvait changer le climat à son avantage en déclenchant des pluies, en détournant des ouragans. Cette tendance prométhéenne de la culture scientifique américaine fut combattue au début des années 1970 par une autre tendance, que l'on pourrait qualifier d'écologiste, et qui a défini, bien avant la prise de conscience d'un changement climatique provoqué par l'homme, presque tout le programme de transformation sociale qui est au cœur des politiques climatiques actuelles.

L'un des ouvrages emblématiques de cette tendance est *Limits to growth*, publié en 1972. Assez rapidement tous les programmes de contrôle du climat ont été démantelés au profit d'une meilleure observation des changements. Toutefois, il est intéressant de noter que deux ans après la conférence onusienne de 1972 à Stockholm, quand se tient à Cocoyoc au Mexique une conférence, toujours organisée sous l'égide de l'ONU, dont les conclusions sont d'une grande radicalité, Henry Kissinger, le Secrétaire d'État américain d'alors, adresse une note à l'UNEP (le programme des Nations Unies pour l'Environnement) lui demandant de limiter son travail à la dépollution. C'est depuis le début des années 1970 une constante de la politique américaine que de refuser à des conférences internationales le droit de limiter la croissance des États-Unis.

Alors que les États-Unis jouent un rôle important, voire prépondérant, dans la conférence de Rio en 1992 et dans celle de Kyoto en 1997, leur refus de ratifier Kyoto est souvent considéré comme un tournant dans leur politique climatique.

On pourrait à l'inverse soutenir que c'est leur signature, non ratifiée, du protocole de Kyoto qui marque un point singulier dans une politique dominée par la défense de la croissance économique américaine. Cette politique, c'est l'amendement Byrd-Hagel, adopté à l'unanimité par le Sénat américain en 1997, soit trois ans avant le premier mandat de George W. Bush, qui semble en fournir le programme : ne pas signer d'accord international sur le climat qui crée des obligations pour les pays développés sans en créer sur la même période pour les pays en développement, et ne pas signer d'accord international qui crée des dommages sérieux pour l'économie américaine ⁽¹⁶⁾.

De ces trois grandes tendances de la culture américaine, la croyance en la technologie, qui se manifeste encore par l'intérêt pour l'ingénierie climatique, la volonté de crois-

sance économique et la préoccupation écologique, cette dernière a toujours été défaite sur le sujet climatique au niveau fédéral. Le président Clinton a échoué en 1993 à introduire une taxe sur les énergies non renouvelables, six propositions de lois visant à réduire les émissions ou à organiser un marché national de permis d'émettre ont été défaites depuis 2003, et le président Obama, qui, comme son adversaire le sénateur McCain, parlait beaucoup du climat lors de sa première campagne présidentielle en 2008, a préféré ne pas être très actif sur le sujet. Par contre, la Californie et plusieurs États du Nord-est ont adopté des politiques climatiques ambitieuses.

Les politiques climatiques de l'Europe, de la France et de l'Allemagne

Sur le sujet climatique, la prudence américaine fait davantage ressortir l'audace européenne. L'euphorie climatique du début des années 1990 a en effet coïncidé avec un moment particulier de l'évolution des institutions européennes. Renforcée juridiquement par le traité de Maastricht, la Commission européenne sort politiquement affaiblie des difficiles référendums de ratification dudit traité. Elle cherche donc à avancer sur un sujet particulièrement important, le climat, qui lui permet par ailleurs de toucher à l'énergie - hors de sa compétence à l'époque - en passant par l'environnement. Il en résulte, sur le plan international, un travail diplomatique considérable pour obtenir les ratifications requises et la mise en œuvre du protocole de Kyoto en 2005, et, sur le plan européen, après l'échec de l'instauration d'une écotaxe qui aurait nécessité l'unanimité des États membres, la mise en œuvre d'un marché de permis d'émission et la définition d'objectifs ambitieux d'accroissement de la part des énergies renouvelables, de réduction des émissions de CO₂ et d'amélioration de l'efficacité énergétique (paquet Climat-énergie 3x20 adopté en 2008 à échéance de 2020, paquet Climat-énergie de 2014 à échéance de 2030). Si l'on considère brièvement deux grands pays de l'Union, la France et l'Allemagne, on mesure que les politiques énergétiques et climatiques adoptées n'y sont pas exemptes de contradictions.

La France aurait pu sans conteste jouer un rôle de modèle européen ou mondial dans la lutte contre le changement climatique du fait de la prédominance du nucléaire dans sa production d'électricité, et d'ailleurs, dans les années 2000, on pouvait avoir le sentiment que le nucléaire mondial serait relancé par le changement climatique. La catastrophe de Fukushima a évidemment tempéré les espoirs ou justifié les craintes, et la France se retrouve donc avec une économie relativement peu carbonée, mais sans pouvoir ou vouloir en tirer tous les bénéfices politiques et économiques.

L'Allemagne est probablement la grande puissance économique où le sentiment écologiste est le plus fort. Face

(15) ARRHENIUS (Svante), "On the Influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground", *Philosophical Magazine and Journal of Science*, vol. 5, n°41, pp. 237-276, 1896.

(16) *Senate Resolution 98, 105th Congress, 1997-1998.*

à une social-démocratie traditionnellement proche de l'industrie charbonnière et à une démocratie chrétienne dont l'alliée bavaroise tend à défendre le nucléaire, les Verts sont parvenus à imposer le soutien aux énergies renouvelables et la sortie progressive du nucléaire. Cette politique a d'abord été décidée par une coalition rouge-verte en 2000, puis confirmée et amplifiée par la coalition noire-jaune (démocratie chrétienne et libéraux) en 2011, après Fukushima, alors même que cette dernière coalition voulait quelques mois plus tôt remettre en question la sortie du nucléaire.

Le soutien allemand aux énergies renouvelables est néanmoins coûteux, et donc contesté dans le pays. Contrairement à ce qu'on lit encore souvent, ce n'est pas parce que l'électricité d'origine éolienne a un coût marginal nul qu'elle a un coût nul. Ramenés à l'électricité produite, l'éolien et le photovoltaïque sont plus coûteux en investissement et en coût total que le nucléaire. En outre, leur production d'électricité est intermittente, et des investissements considérables dans les réseaux sont nécessaires pour transporter vers le Sud l'électricité produite par les vents qui font tourner les éoliennes dans le Nord.

L'Europe peut-elle recueillir les dividendes politiques et économiques d'une politique climatique qui va très au-delà de tout ce qu'ont entrepris les autres régions du monde ? Il faut pour cela qu'elle parvienne à manœuvrer dans un contexte géopolitique difficile.

Une géopolitique complexe, évolutive et point toujours favorable à l'Europe

Les pays en voie de développement ne se sont pas laissés gagner immédiatement par l'idée de lutte contre le changement climatique, perçue dès l'origine comme une idée venant du Nord, pas nécessairement favorable au développement du Sud. De ce point de vue, d'ailleurs, ils ont une approche du sujet assez voisine de l'approche américaine, en cela qu'elle reste dominée par le souci de la croissance économique. Ils sont regroupés, pour les négociations climatiques comme sur d'autres sujets, au sein du G77 issu du mouvement des non-alignés des années 1960, qui compte désormais 134 membres, et que l'on appelle aussi le G77 + Chine depuis que ce pays l'a rejoint. Cette coalition est de plus en plus hétérogène puisque l'on peut y distinguer les pays producteurs d'hydrocarbures et de charbon, assez inquiets des développements de ces dernières décennies, le Bangladesh et les petits États insulaires de l'Alliance Of Small Island States (AOSIS), très menacés par la montée des eaux, les pays les moins industrialisés (*Least Industrialized Countries*) comme le Népal et quelques pays africains, et ces grandes puissances que l'on n'ose plus qualifier d'émergentes, que sont la Chine, l'Inde, l'Afrique du Sud et le Brésil.

Cette coalition des pays en développement montre des fissures de plus en plus évidentes. Le refus indien d'accepter des contraintes d'émission fut ainsi commenté à la conférence de Durban en 2011 par le ministre des Affaires étrangères de la Grenade : « *While they develop, we die ; and why should we accept this ?* »

Les performances des quatre puissances dites émergentes sont en effet peu convaincantes sur le front climatique.

La Chine a fait le choix d'une croissance à tout prix et d'une urbanisation galopante, avec une économie profondément dépendante des énergies fossiles. La déclaration commune sino-américaine de novembre 2014 a beau fixer une échéance pour le pic des émissions carbonées chinoises, c'est aussi une manière pour la Chine de rappeler qu'en dépit de son plan climat, elle continuera à augmenter ses émissions jusqu'à l'échéance de 2030. Le mix énergétique brésilien fait une large part à l'hydro-électricité et aux biocarburants, mais le Brésil continue de réduire fortement la surface de ses forêts, et il est de plus en plus dépendant économiquement (donc aussi diplomatiquement) de la Chine, à laquelle il vend des matières premières pour lui acheter des produits finis. Quant à l'Inde et à l'Afrique du Sud, ce sont de grandes puissances charbonnières qui se signalent davantage dans la mise en cause de la responsabilité historique du Nord que dans la lutte contre le changement climatique.

Le déplacement d'un débat scientifique et économique vers la mise en cause idéologique du Nord n'est pas nouveau, puisqu'une ONG indienne parlait déjà de colonialisme climatique dans les années 1990, s'inscrivant ainsi dans la continuité de la position exprimée à Stockholm par Indira Gandhi. Cette position est toutefois de plus en plus préoccupante au fur et à mesure que l'on s'approche de ce qui pourrait être une heure de vérité de la négociation climatique. La thèse défendue à l'encontre des pays du Nord est simple et renvoie évidemment au militantisme anticolonial : les pays du Nord portent une responsabilité historique dans les émissions carbonées, ils ont épuisé tout ou partie de leurs droits historiques d'émission, c'est à eux de faire des efforts et de laisser le Sud à son développement et à ses émissions carbonées. La confrontation entre les représentants de l'Union européenne et de l'Inde à la conférence de Durban, en 2011, a été très âpre, et même si le discours de la responsabilité historique du Nord trouve des échos dans nos pays, il paraît très important d'en démontrer les limites (la révolution industrielle n'a pas apporté à l'humanité que des émissions carbonées...) et de le contrer pour mettre fin à la singularité européenne dans les efforts de politique climatique.

La gouvernance internationale climatique depuis Rio : une machine à fabriquer des processus et des calendriers

Pour bien évaluer les possibilités offertes à l'Europe lors de la conférence de Paris qui se tiendra en décembre de cette année, il convient d'avoir conscience de la machine en fonctionnement au travers du GIEC et des conférences annuelles. Cette machine est devenue un espace où se construisent de nombreuses carrières individuelles sur la base d'une parité entre le Nord et le Sud, les intéressés ayant un intérêt évident à ce que le processus ne s'arrête pas. En même temps, comme il n'y a plus eu d'ac-

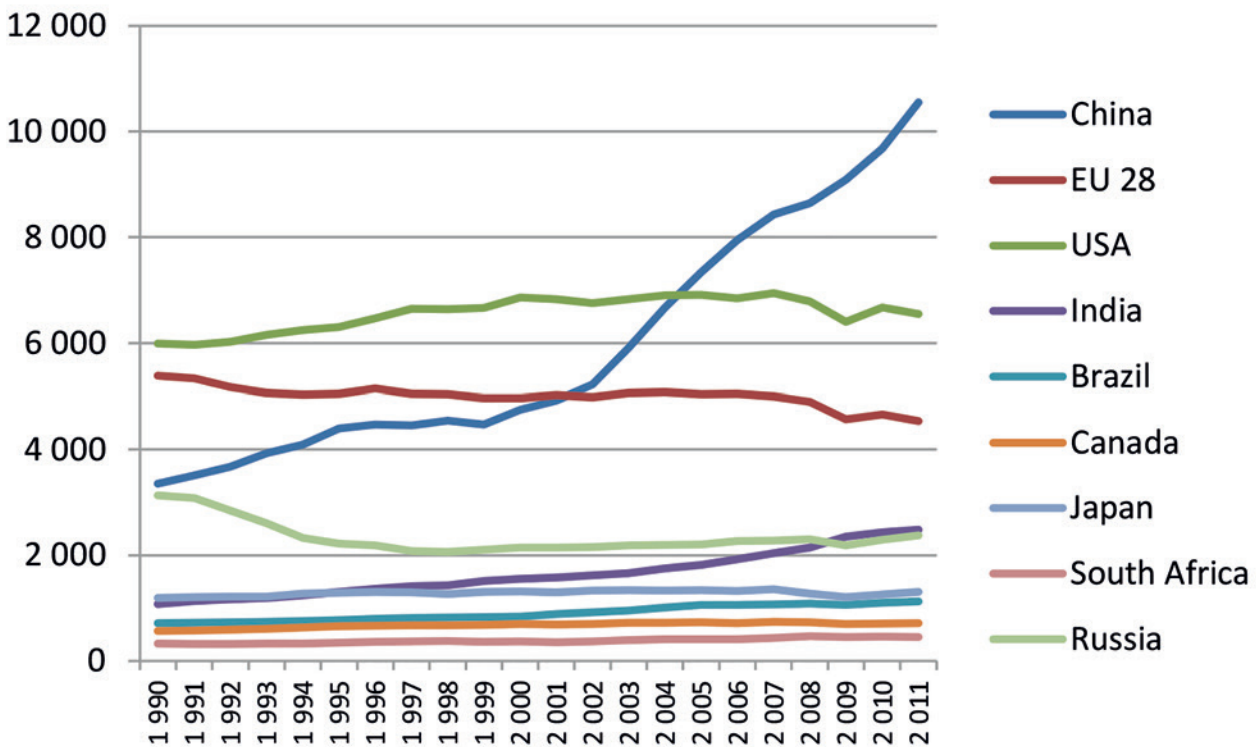


Figure 1 : Émissions annuelles de gaz à effet de serre en millions de tonnes d'équivalent CO₂ (1990-2011).
 Source: World Resources Institute. Calculs de l'auteur.

cord contraignant depuis la COP3 de Kyoto en 1997, il y a près de vingt ans, les conférences successives ont beaucoup fabriqué du processus : elles se sont généralement conclues en remettant à plus tard l'accord sur le fond et en définissant un calendrier pour y parvenir. Plus précisément, si l'on considère les conférences qui ont eu lieu depuis l'entrée en vigueur du protocole de Kyoto, en 2005, la conférence de Bali a formulé en 2007 le « mandat de Bali », feuille de route devant aboutir à un nouveau traité post-2012 à Copenhague, en 2009. Après l'échec de Copenhague, la conférence de Durban, en 2011, a adopté la « plateforme de Durban », prévoyant l'adoption d'un nouvel accord à Paris en 2015.

On voit donc que même dans une fabrique de processus, il y a des moments où l'on ne peut échapper à l'heure de vérité : il s'agit des conférences pour lesquelles un accord a été programmé. Copenhague en 2009 en était une, Paris en 2015 en sera une autre. L'enjeu est donc d'importance, même si les attentes semblent moindres qu'avant Copenhague, une conférence marquée par une mobilisation sans précédent de la société civile mondiale, mais qui était pourtant promise à l'échec, car ni le Nord ni le Sud ne pouvaient prendre d'engagements supplémentaires en plein cœur de la crise économique.

Si l'on veut esquisser quelques scénarii pour la conférence de Paris, ils peuvent être au nombre de trois.

L'accord global et contraignant est l'objectif affiché par la France. Il repose sur une formulation proposée à Durban par le représentant du Brésil au terme de l'affrontement entre l'Inde et l'Europe, soutenue par une partie des pays

en développement. Cette formulation est souple, car elle évoque « un protocole, un autre instrument juridique ou un texte convenu d'un commun accord ayant valeur juridique ». Il y a là tout un éventail de possibles et le texte convenu d'un commun accord pourrait n'être qu'un relevé de décisions.

On ne serait alors pas loin d'un échec, peu probable, mais qui n'est pas à exclure si certains pays souhaitent la fin du processus de négociation tel qu'il existe actuellement. L'issue la plus probable est cependant qu'un processus dit *bottom-up* se mette en place et fasse l'agrégation des initiatives supranationales ou nationales en cours, les fameuses *Intended Nationally Determined Contributions* (INDCs), difficiles à comparer ou même à évaluer dans leur caractère de simple intention ou de politique véritable, mais qui, selon l'AIE, pourraient faire passer la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité mondiale d'un cinquième à un tiers vers 2030. La conférence pourrait ainsi afficher des intentions ambitieuses, comme la réduction de 40 à 70 % des émissions carbonées à l'horizon de 2050 par rapport au niveau de 2010, une annonce faite en juin 2015 par le G7, mais sans que les politiques de mise en œuvre soient précisées pays par pays.

Ce repli sur les initiatives de chaque partie ou groupe de parties ne répond pas nécessairement aux intérêts de l'Europe, qui, depuis les années 1990, souhaite montrer la voie et risque aujourd'hui de se retrouver seule au milieu du gué. L'enjeu déterminant pour l'Europe est sans doute désormais de placer les grands émergents devant leurs responsabilités.

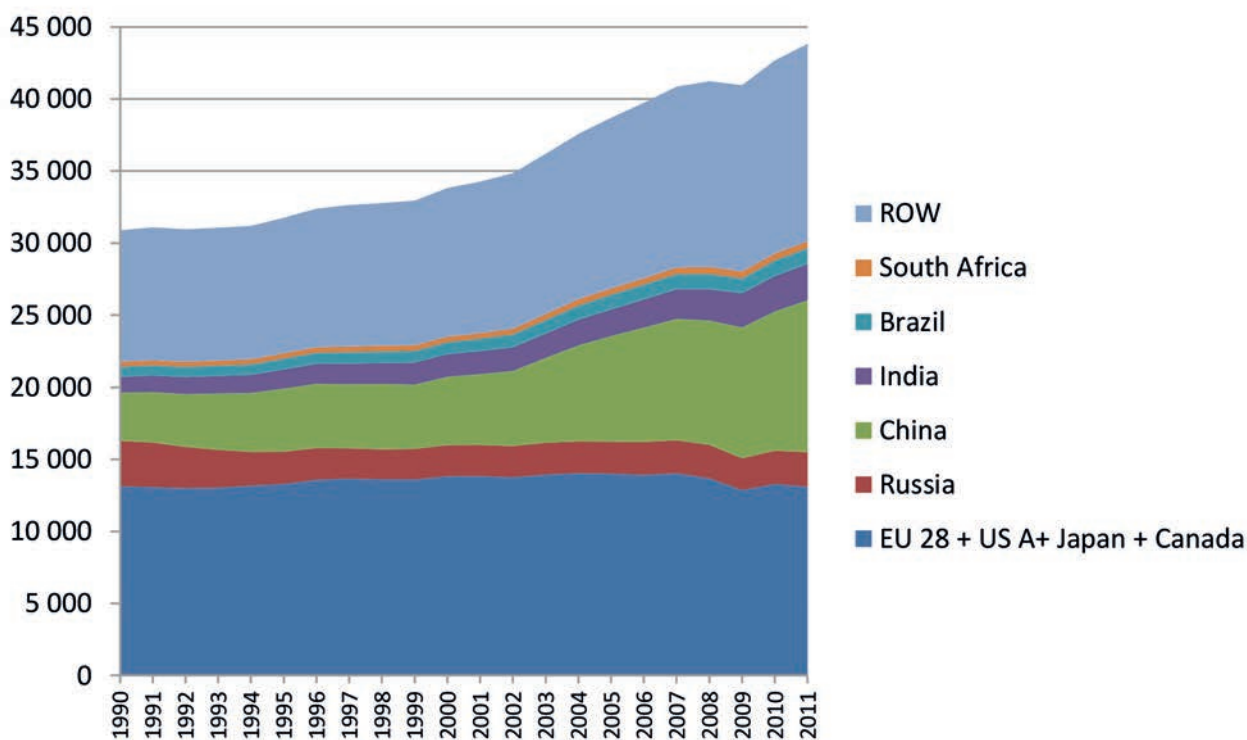


Figure 2 : Émissions annuelles de gaz à effet de serre en millions de tonnes d'équivalent CO₂ (1990-2011).
 Source: World Resources Institute. Calculs de l'auteur.

Un objectif : placer les grands émergents devant leurs responsabilités

En 2010, la Chine, principal émetteur mondial de gaz à effet de serre, était responsable de 19 % des émissions, soit à peu près autant que les États-Unis et l'Europe réunis. L'Inde, à elle seule, émettait 4 % des gaz à effet de serre mondiaux, et le Brésil 2,5 %. La Chine, l'Inde et le Brésil, avec près de 26 %, émettent donc désormais bien plus que les États-Unis et l'Europe réunis. Le monde n'est plus le même que celui de la conférence de Rio en 1992, quand les États-Unis et l'Europe étaient encore responsables de 29 % des émissions mondiales, et la Chine, l'Inde et le Brésil de 17 % (voir la Figure 1 de la page 18).

Entretemps, les émissions annuelles sont passées de 38 à 50 milliards de tonnes d'équivalent CO₂, l'augmentation étant due uniquement aux pays en développement (voir la Figure 2 ci-dessus).

L'augmentation mondiale des émissions de gaz à effet de serre depuis le début des négociations climatiques est généralement considérée comme le signe, sinon d'un échec, du moins de la très grande difficulté à maîtriser les émissions. Cette difficulté est évidemment liée à la forte croissance des grands émergents, illustrée par la Figure 3 ci-contre. Si l'on décompose les émissions de gaz à effet de serre selon la composante carbonée et la taille de l'économie, on constate qu'entre 1990 et 2011, les grandes économies, développées ou en développement, ont toutes décarboné leur produit intérieur brut, diminuant à des degrés divers leurs émissions par dollar de

Emissions de GES en millions de tonnes équ. de CO₂
 = kg d'équ. de CO₂ émis par dollar 2005 constant de PIB
 * PIB en milliards de dollars 2005 constants

Chine

1990 : 6 x 500 = 3000

2011 : 2,5 x 4000 = 10000

Inde

1990 : 3 x 350 = 1050

2011 : 0,5 x 1300 = 2600

États-Unis

1990 : 0,7 x 8000 = 5600

2011 : 0,5 x 13000 = 6500

EU 28

1990 : 0,5 x 10000 = 5000

2011 : 0,3 x 15000 = 4500

Figure 3 : Décomposition des émissions de gaz à effet de serre selon la composante carbonée et la taille de l'économie.
 Calculs de l'auteur (ordres de grandeur).

PIB. Par contre, l'effet de croissance de ce PIB a fait bien plus que compenser cette décarbonation pour la Chine, pour l'Inde, et même, dans une moindre mesure, pour les États-Unis. L'Europe est la grande région du monde dont l'économie a été le plus décarbonée et qui a connu la plus faible croissance entre 1990 et 2011, ce qui confirme la singularité européenne.

Croissance des émissions de gaz à effet de serre 2010-2011

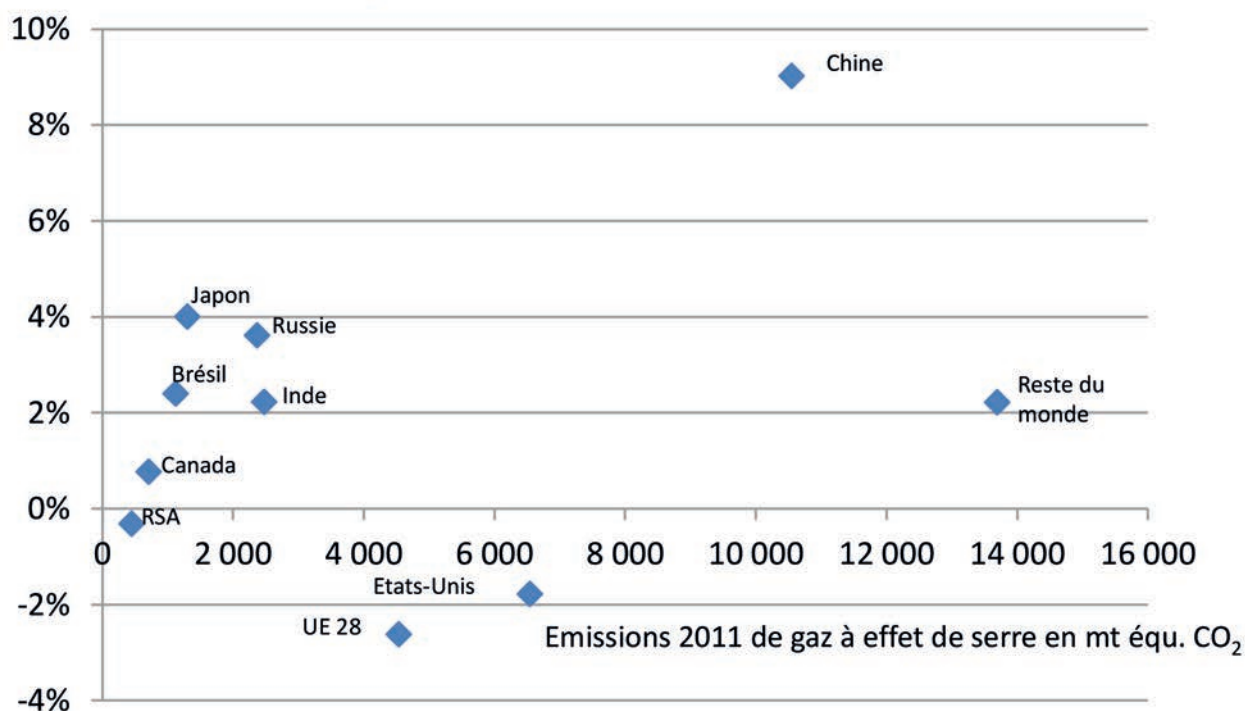


Figure 4 : Croissance et volume des émissions de gaz à effet de serre de différents pays et zones géographiques.
 Source: World Resources Institute. Calculs de l'auteur.

La déclaration commune sino-américaine de novembre 2014, généralement saluée comme une avancée, contient pourtant un élément très inquiétant, puisque la Chine y affirme sa volonté d'accroître ses émissions carbonées jusqu'en 2030. Quand les pays développés réduisent leurs émissions par rapport au niveau d'années passées prises comme références, la Chine ne s'engage à les baisser que dans un avenir lointain, et par rapport à un niveau à venir. La Chine demeure, et de loin, le grand pays qui émet le plus et dont les émissions connaissent la plus forte croissance (voir la Figure 4 ci-dessus).

Il y a là une nouvelle responsabilité historique qui, si elle n'est reconnue ni par la Chine ni (quoique dans une moindre mesure) par l'Inde, risque de peser très lourdement sur la conférence de Paris. L'Europe ne pourra persévérer dans des politiques très ambitieuses si elle est la seule à le faire. S'il y a une banque centrale à solliciter pour lutter contre le changement climatique, c'est peut-être bien la banque populaire de Chine...

Analyse prospective des solutions technologiques au défi climatique

Par Olivier APPERT

Président du Conseil français de l'Énergie

Les défis en matière d'énergie et d'environnement sont étroitement liés. La technologie est un des leviers à mobiliser pour leur apporter des solutions. Mais il faut se rappeler que les temps de l'énergie et de la technologie sont des temps longs. Aussi la transition vers un système énergétique durable prendra-t-elle des décennies. De nombreuses technologies sont envisageables, mais il n'y a pas de panacée qui permettrait de résoudre tous les problèmes.

« Le monde va bientôt manquer de sa plus importante ressource énergétique parce que les réserves commencent à être épuisées. Pour faire face à ce désastre, il est indispensable de se tourner vers l'énergie éolienne ». Cette citation ne date pas de 2015, mais de 1881. Elle émane de Lord Kelvin, un des plus grands scientifiques. Cette citation doit nous amener à faire preuve de modestie et de pragmatisme dans nos exercices de prospective !

Le temps de l'énergie

Aujourd'hui, les énergies fossiles (pétrole, gaz et charbon) représentent près de 80 % de l'approvisionnement énergétique mondial. Cette dépendance ne va pas diminuer rapidement, car le secteur énergétique présente une grande inertie. Ainsi, le taux de renouvellement du secteur résidentiel et tertiaire est d'environ 100 ans. La durée de vie moyenne des centrales électrique est, quant à elle, de l'ordre de 50 ans...

Par ailleurs, la demande d'énergie est étroitement corrélée au PIB mondial qui augmente avec l'accroissement de la population et avec celui du niveau de vie, en particulier dans les pays émergents. Cette corrélation s'est maintenue depuis 50 ans, et ce malgré les bouleversements économiques et politiques qui sont intervenus : chocs pétroliers de 1973 et 1979, contre-choc pétrolier de 1986, chute du Mur de Berlin en 1990 et crise économique de 2008. Un enjeu majeur de la politique énergétique et environnementale est d'infléchir cette courbe afin de préserver la croissance économique, indispensable partout dans le monde et plus encore dans les pays en voie de développement (PVD). En l'absence d'un remède miracle, il nous faut adopter une approche pragmatique. L'efficacité énergétique est un moyen puissant, mais ce n'est qu'un moyen parmi d'autres. Elle passe par des modifications dans le comportement des consommateurs, mais aussi par le renouvellement d'équipements ayant une longue durée de vie.

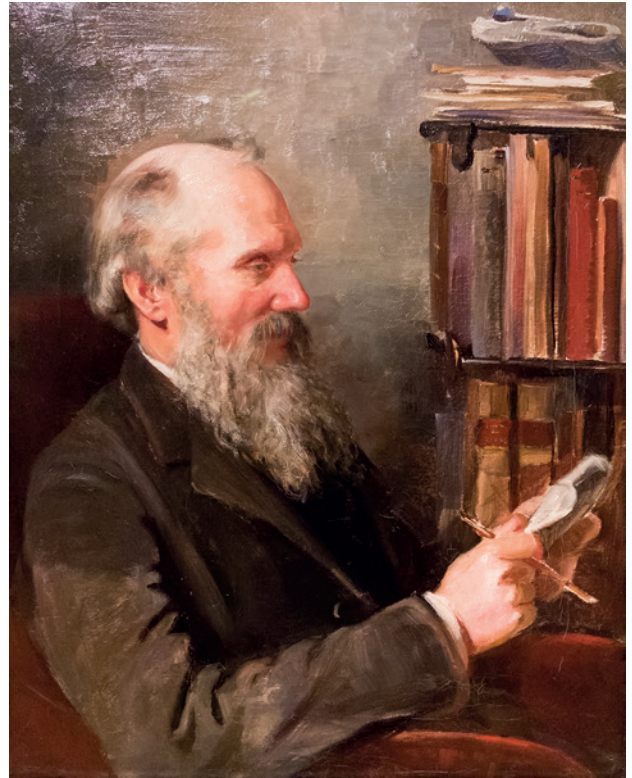


Photo © Stefano Baldini-BRIDGEMAN IMAGES

Portrait (réalisé en 1886) du mathématicien, physicien et ingénieur, Lord Kelvin (1824-1907) - Toile d'Elizabeth Thomson (1848-1914), National Portrait Gallery, Londres.

« "Le monde va bientôt manquer de sa plus importante ressource énergétique parce que les réserves commencent à être épuisées. Pour faire face à ce désastre, il est indispensable de se tourner vers l'énergie éolienne". Cette citation ne date pas de 2015, mais de 1881. Elle émane de Lord Kelvin, un des plus grands scientifiques. »



Le temps de l'énergie est un temps long

Bouquet énergétique mondial de 1965 à 2010

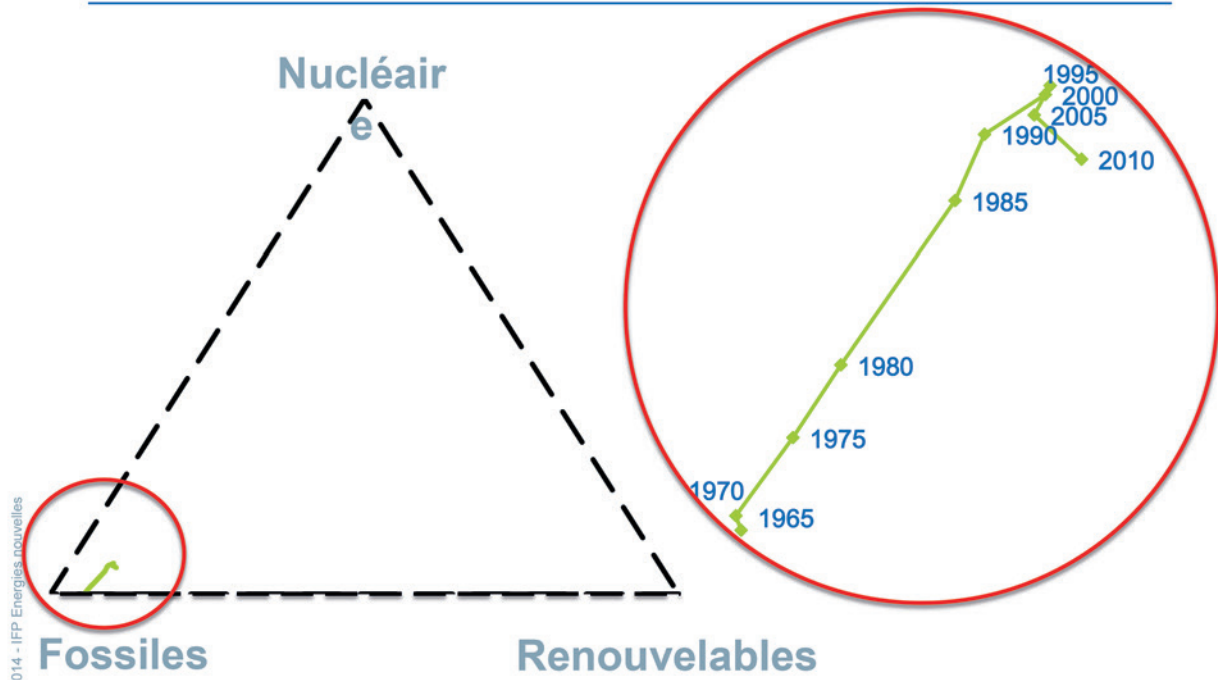
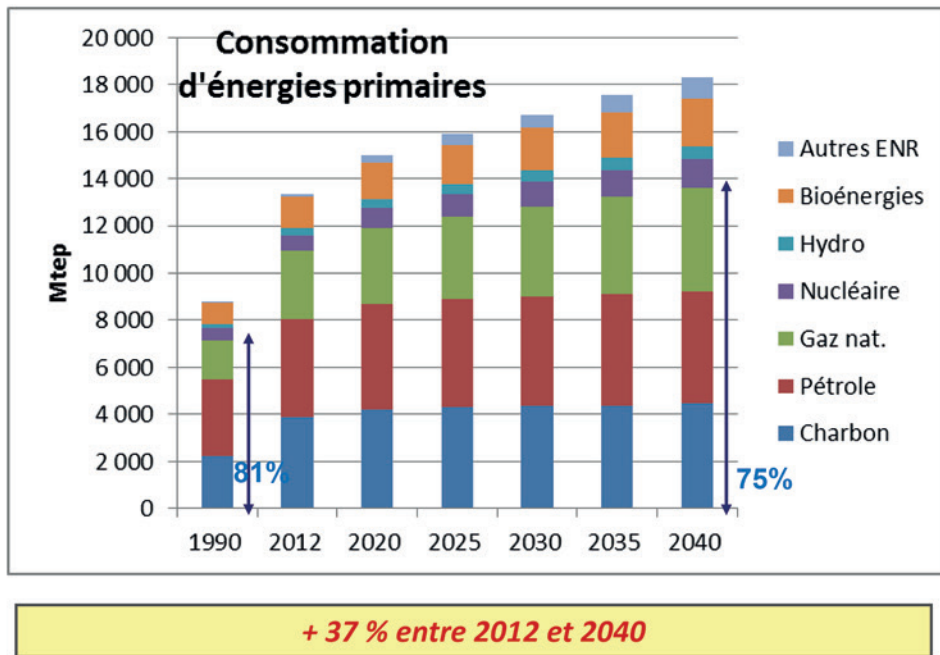


Figure 1



Demande d'énergie primaire (Mtep)



© 2014 - IFP Energies nouvelles

Source : AIE WEO 2014, Scénario "Nouvelles politiques"

Figure 2

La Figure 1 (de la page précédente) illustre l'inertie de l'évolution du mix énergétique. Décarboner le bouquet énergétique revient à déplacer le curseur du sommet « fossiles » vers les sommets « renouvelable » et « nucléaire ». On constate qu'en 50 ans, peu de chemin a été parcouru, alors que, dans le même temps, la consommation d'énergie a triplé. De plus, depuis 1990, la décarbonation de l'économie semble en panne.

Les récentes publications de l'Agence Internationale de l'Énergie, qui font autorité en la matière, illustrent ces fondamentaux du secteur.

Dans un scénario moyen, la consommation d'énergie mondiale devrait augmenter de 37 % entre 2012 et 2040, les énergies fossiles couvrant les trois-quarts de la hausse de la demande. Ainsi, malgré les politiques mises en œuvre dans tous les pays, la part des énergies fossiles dans le mix énergétique serait de 75 % en 2040, à comparer à 81 % en 1990. Satisfaire la croissance de la demande énergétique impliquera en outre des investissements considérables : plus de 1 000 milliards de dollars par an, soit environ 1,4 % du PIB mondial. De plus, il faut se rappeler qu'un milliard d'habitants de notre planète n'ont toujours pas accès à l'électricité.

Panorama des technologies bas carbone

La transition énergétique passera par le déploiement de technologies innovantes. Il est donc nécessaire de prendre

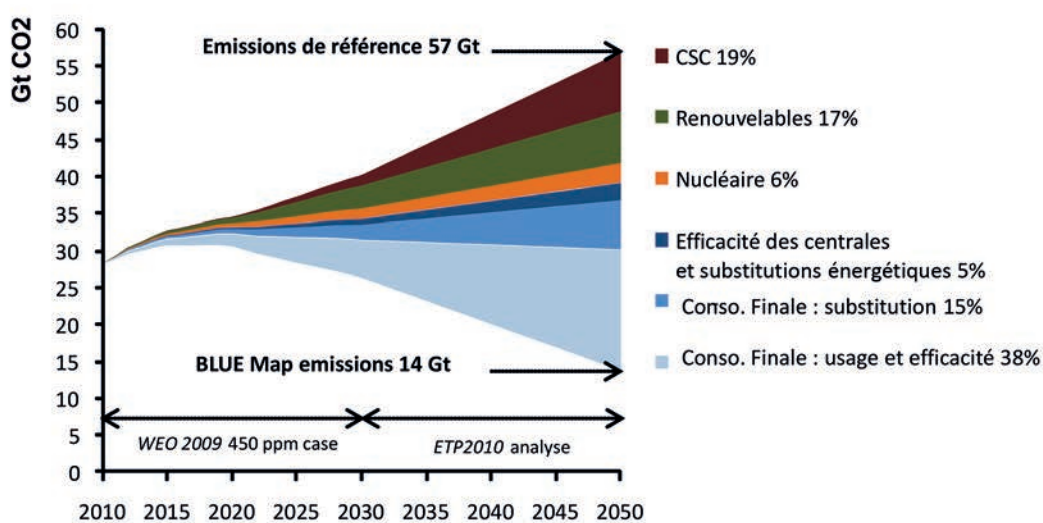
conscience de la contribution des diverses technologies.

La Figure 3 (ci-dessous) tirée de l'étude de l'AIE *Energy Technology Perspectives 2010* illustre le potentiel des différentes technologies disponibles pour répondre à ce défi qu'est la réduction d'un facteur 2 des émissions mondiales de GES à l'échéance 2050. L'efficacité énergétique devrait couvrir à elle seule plus du tiers de l'écart entre le niveau des émissions de GES résultant d'un prolongement des tendances actuelles, et celui nécessaire pour limiter la hausse de la température de la planète à 2°C maximum, à l'échéance du milieu de la prochaine décennie. La conversion vers des énergies moins carbonées (par exemple, la substitution du gaz au charbon) permettrait de réduire les émissions de 18 %. Le nucléaire couvrirait 6 % de l'écart. Les renouvelables contribueraient à hauteur de 21 % (à noter que la moitié de cette contribution proviendrait de la biomasse). Enfin, l'AIE estime que le captage et le stockage du CO₂ (CCS), avec un potentiel de réduction estimé à 19 %, est indispensable pour pouvoir respecter les objectifs précités de réduction des émissions de CO₂. On notera que dans cette projection ambitieuse, les énergies fossiles représenteraient toujours près de 50 % du mix énergétique mondial en fin de période.

La Commission européenne a développé une autre approche des technologies bas carbone dans son rapport *Strategic Energy Technology Plan (SET Plan)* publié en 2008.



Une révolution énergétique nouvelle : réduire les émissions de CO₂ liées à l'énergie



Un large éventail de technologies sera nécessaire pour réduire significativement les émissions de CO₂ liées à l'énergie

Source : AIE ETP 2010

Figure 3



Photo © Bernd Settnik-MAXPPP

Le site de captage et de stockage de CO₂ de la société Vattenfall à Schwarze Pumpe (Brandebourg, Allemagne, décembre 2011).

« L'AIE estime que le captage et le stockage du CO₂ (CCS), avec un potentiel de réduction estimé à 19 %, est indispensable pour pouvoir respecter les objectifs précités de réduction des émissions de CO₂. On notera que dans cette projection ambitieuse, les énergies fossiles représenteraient toujours près de 50 % du mix énergétique mondial en fin de période. »

Toutes les technologies ne sont pas au même niveau de maturité (axe horizontal de la Figure 4 de la page suivante). Par ailleurs, le déploiement de ces technologies se heurte à des difficultés plus ou moins grandes (axe vertical de la même Figure). Certaines technologies sont d'ores et déjà disponibles, et peuvent donc être déployées dès maintenant ; d'autres en sont encore au stade de la R&D. Par ailleurs, certaines technologies peuvent être déployées sans que cela pose de problèmes majeurs (par exemple, l'isolation des bâtiments) ; d'autres, en revanche, se heurtent à des obstacles significatifs (par exemple, la construction de nouvelles centrales nucléaires). Dans la Figure 4, la superficie des cercles représente le potentiel de chacune des technologies envisageables.

Il faut se rendre à l'évidence : il n'existe pas aujourd'hui de panacée qui permettrait de résoudre tous les problèmes. Il convient de déployer immédiatement les technologies d'ores et déjà disponibles (phase 1) et de poursuivre les investissements de R&D pour développer les technologies de phase 2.

On peut noter que ce rapport rédigé en 2008 ne souligne pas cet enjeu technologique majeur que représente le stockage de l'énergie, particulièrement pour l'électricité. Or, compte tenu de l'explosion récente du solaire et de l'éolien, ce thème est aujourd'hui considéré comme une priorité

majeure. Par ailleurs, cette analyse ne prend pas en considération l'enjeu de l'adaptation au changement climatique.

Focus sur quelques technologies clés

Sans prétendre à l'exhaustivité, nous allons faire un point sur quelques-unes des technologies clés existantes.

Les énergies renouvelables

Pour de nombreux responsables politiques les énergies renouvelables représentent une technologie centrale de la transition énergétique. La croissance considérable de ces énergies est un exemple de décisions politiques prise sans considération des implications économiques.

Les investissements dans les secteurs du solaire et de l'éolien ont augmenté d'un facteur 6 de 2004 à 2011. Le caractère intermittent de ces productions crée de graves distorsions de la courbe de charge, et leur faible coût marginal exerce une forte pression à la baisse sur les prix de marché de l'électricité. C'est en particulier le cas en Europe, où les utilités sont confrontées à une dégradation significative de leur situation financière. La forte croissance de ces énergies a été favorisée par une réglementation qui leur était très favorable (obligation d'achat à prix garanti) et par l'octroi de subventions : en Allemagne, ces subventions récurrentes atteignent 25 milliards d'euros par an. Ainsi, de façon pa-

Les opportunités industrielles des technologies bas carbone

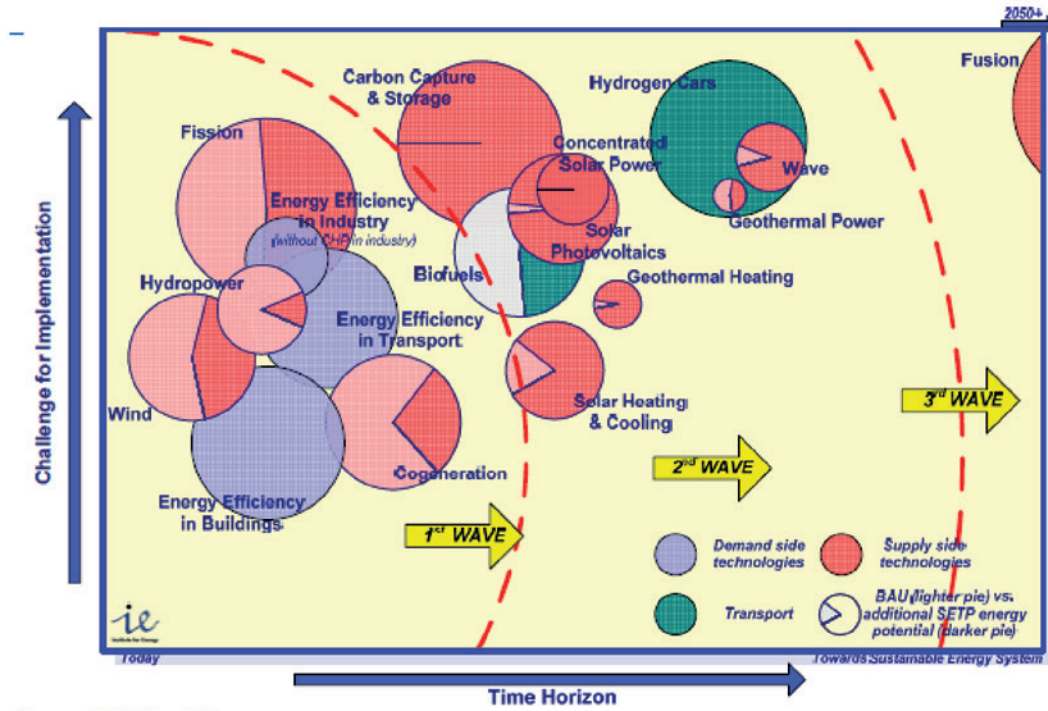
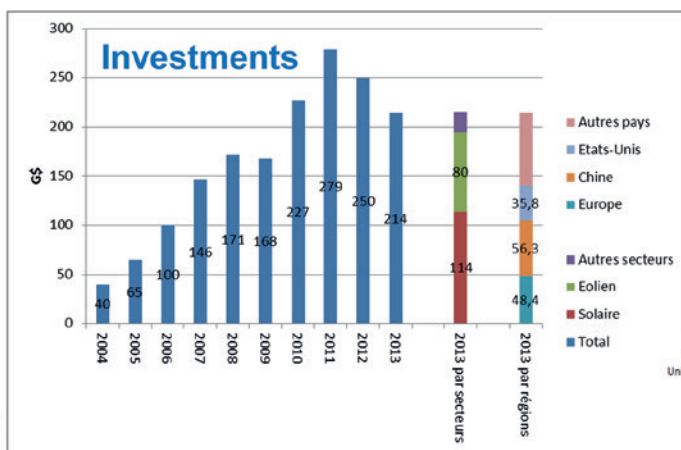


Figure 4

Renewables: a dramatic growth



Increasing budget constraints

Ex. Germany: 22 G\$ in 2013 ...

France : 4 G\$ in 2013

Subsidies 2013

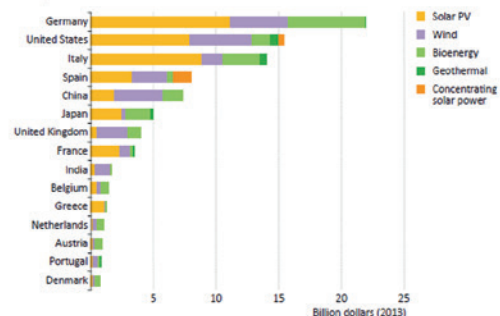


Figure 5



Electricity storage: a key challenge

Storage technology as defined by capacity and discharge time (autonomy)

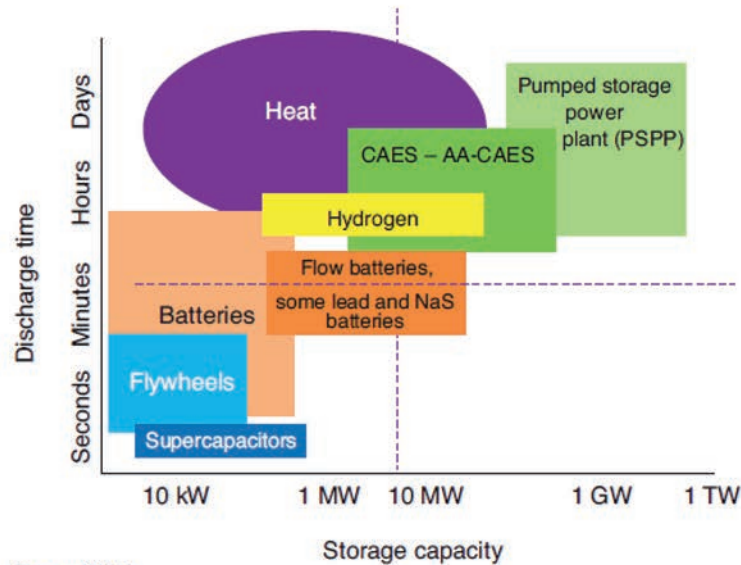


Figure 6

radoxale, alors que le prix de marché baisse, le prix facturé au consommateur final augmente. La crise économique de 2008 et ses incidences budgétaires ont conduit nombre de pays à remettre en cause ce dispositif favorable : conséquence immédiate, les investissements ont baissé par rapport à leur niveau maximum de 2011.

La nécessaire maîtrise de l'équilibre du réseau exige la réalisation d'importants investissements dans les infrastructures de transport et de distribution de l'électricité, mais le déploiement de nouvelles lignes se heurte à de nombreuses oppositions au niveau local. Il est dès lors d'autant plus nécessaire de développer les technologies de stockage d'électricité (voir *infra*). Il faut aussi reconsidérer la structure des réseaux en développant ce que l'on appelle les *smart grids*.

Quand on parle d'énergies renouvelables, on omet très souvent l'hydroélectricité et la biomasse, alors que leur contribution au mix énergétique est pourtant sans commune mesure avec celles du solaire et de l'éolien. L'hydroélectricité et la biomasse sont des technologies matures et disponibles, qui peuvent être déployées dès aujourd'hui. Les possibilités qu'elles offrent sont trop souvent sous estimées.

Le stockage d'électricité

Le stockage de l'énergie, en particulier de l'électricité, apparaît indispensable si l'on veut compenser le caractère intermittent des énergies renouvelables. Les technologies

de stockage peuvent prendre de multiples formes suivant la puissance considérée (10 kW à 1 TW), la durée de stockage (quelques heures ou quelques mois) ou encore le temps de charge et de décharge.

On distingue quatre types de technologies de stockage de masse de l'électricité.

a) le stockage mécanique. Les STEP (stations de transfert d'énergie par pompage) constituent la technique de stockage la plus largement développée, mais le nombre des sites potentiellement aménageables est limité. On peut aussi envisager le stockage sous forme d'air comprimé ou par volant d'inertie, mais ces technologies ne sont pas encore matures.

b) le stockage électrochimique ou électrostatique. La technologie des batteries est connue depuis plus de deux siècles : on se positionne donc loin sur la courbe d'expérience, mais les progrès potentiels sont limités. Des développements sont également possibles dans le domaine des super capacités et des supraconducteurs.

c) le stockage thermique ou thermochimique. L'énergie est alors stockée sous forme de chaleur sensible ou de chaleur latente. D'autres voies sont explorées comme les systèmes par absorption ou le recours à des matériaux à changement de phase.

d) enfin, le stockage chimique sous forme d'hydrogène ou de méthane de synthèse.

Mis à part les STEP, les technologies qui viennent d'être mentionnées en sont encore au stade de la R&D pour ce qui concerne leur utilisation sur les réseaux électriques. On ne peut raisonnablement envisager leur déploiement à grande échelle avant une à deux décennies.

Le captage et le stockage du CO₂ (CCS)

Le CCS consiste à capter le CO₂ là où il est concentré (par exemple, dans les fumées des centrales thermiques ou dans celles des industries grosses consommatrices d'énergie), puis à le transporter avant de le stocker dans des formations géologiques profondes. Les technologies mises en œuvre sont d'une utilisation classique dans l'industrie pétrolière : traitement des gaz, transport de gaz acides, stockage de gaz naturel. Ainsi, depuis 1996, 1 million de tonnes de CO₂ est stocké chaque année dans un aquifère profond, sur le gisement de Sleipner en mer du Nord. Les technologies mises en œuvre doivent cependant être adaptées pour en réduire le coût. Au début des années 2000, nombreux ont été les industriels à investir massivement dans ce type de projet. Par des efforts de R&D, l'objectif était de réduire le coût d'un facteur 2. En 2005, le *business model* était considéré comme crédible, car les coûts qu'il était espéré d'obtenir en 2025 grâce à ces efforts étaient du même ordre de grandeur que le prix attendu du CO₂, soit environ 50 dollars la tonne ; il faut rappeler qu'à l'époque, le prix du CO₂ sur le marché de l'ETS se situait aux alentours de 25 euros la tonne. Malheureusement

les investissements de R&D n'ont pas été à la hauteur des anticipations. En outre, le prix du CO₂, au lieu de croître, s'est effondré en dessous de 6 euros la tonne.

Cela étant, le CCS est toujours considéré par les experts comme une technologie incontournable. L'évolution du contexte économique retarde la perspective de son déploiement à grande échelle, mais elle reste toujours d'actualité dans deux secteurs clés de l'exploitation des hydrocarbures : celui de l'*Enhanced Oil Recovery* (EOR) et celui de la production de gaz acides.

Depuis de nombreuses années, l'injection de CO₂ dans les gisements est utilisée pour améliorer le taux de récupération du pétrole (EOR). Aux États-Unis, ce sont plus de 50 millions de tonnes de CO₂ qui sont ainsi injectées chaque année.

Par ailleurs, de plus en plus de gisements gaziers présentent des teneurs élevées en gaz acides. Ceux-ci (parmi lesquels figure le CO₂) doivent être séparés du méthane pur. Le coût de la capture du CO₂ est intégré dans le coût total d'exploitation du gisement, si bien que le coût du CCS est marginal : ainsi, le surcoût du stockage du CO₂ dans le gisement d'In Salah en Algérie n'est que de 6 dollars la tonne.

En Europe, l'intérêt pour le CCS a bien diminué, mais cette technologie fait toujours l'objet de développements aussi bien aux États-Unis qu'en Chine. À noter que la

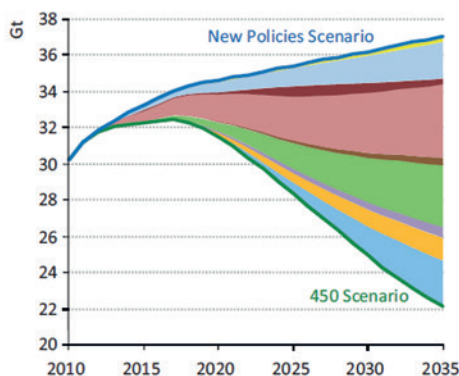


CO₂ management



Internal for gas sweetening IFPACC™

© 2014 - IFP Energies nouvelles



CO ₂ abatement	2020	2035
Activity	2%	2%
End-use efficiency	18%	13%
Power plant efficiency	3%	2%
Electricity savings	50%	27%
Fuel and technology switching in end-uses	2%	3%
Renewables	15%	23%
Biofuels	2%	4%
Nuclear	5%	8%
CCS	4%	17%
Total (Gt CO₂)	3.1	15.0

(source IEA WEO 2012)

40% of conventional gas reserves contain sour gases including CO₂

Field-scale design & deployment

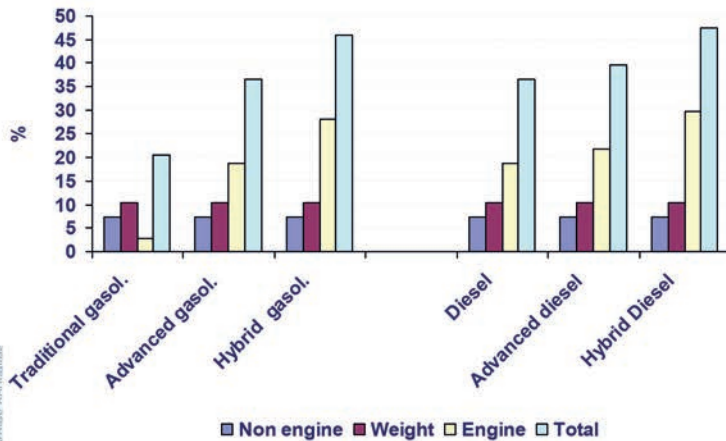


From gas sweetening to CO₂ EOR/EGR

Figure 6



Potential fuels economy improvements



© 2014 - IFP Energies nouvelles

**20 to 50 %
reduction feasible
based on
non engine
(aerodynamics, rolling
resistance, energy
management, weight
reduction)
and
engine
improvements**

Figure 8

Grande-Bretagne vient de décider de lancer un projet de CCS en Écosse. Dans ce but, un cadre réglementaire a été mis en place pour conforter la rentabilité du projet (instauration d'une taxe CO₂ et d'une garantie de prix).

Certains opposent le captage du CO₂ à sa valorisation après transformation en produit chimique, voire en méthane. Mais il faut rappeler que la molécule de CO₂ est très stable, et sa transformation exige d'importantes quantités d'énergie. Le bilan énergétique et économique d'une telle opération est donc sujet à caution. Par ailleurs, les débouchés pour les produits chimiques obtenus (à l'exception du méthane) sont très marginaux par rapport aux volumes potentiels que représente le CCS.

Le secteur des transports

Le secteur des transports représente à lui seul plus de la moitié de la consommation de pétrole mondiale. Par ailleurs, ce secteur dépend à 95 % des produits pétroliers pour son approvisionnement en énergie.

Depuis plus d'un siècle, le moteur à combustion interne occupe une place déterminante dans ce secteur. Bien que cette technologie soit très mature, il subsiste aujourd'hui encore des possibilités d'améliorer son efficacité énergétique : injection directe, turbo, nouveaux modes de combustion... Les progrès considérables réalisés dans le domaine des TIC permettent de réduire la taille des moteurs (et donc leur consommation d'énergie). La motorisation hybride présente, quant à elle, un intérêt majeur. De

même, la réduction du poids des véhicules a un impact direct sur la consommation. La Figure 8 (ci-dessus) donne une illustration de l'énorme potentiel d'économie d'énergie dans ce secteur.

La décarbonation du transport passe aussi par la diversification des sources d'énergie. Les biocarburants de première et deuxième génération sont les premiers substitués aux produits pétroliers, tant dans le transport terrestre que dans le transport aérien. La place du gaz naturel devrait croître dans le transport terrestre de personnes et de marchandises, ainsi que dans le transport maritime. Le véhicule électrique se développera lui aussi, mais il ne devrait constituer à court terme qu'un marché de niche, du fait des limites actuelles des batteries.

En conclusion la demande d'énergie apparaît étroitement corrélée avec la croissance de la population et celle du PIB. Aujourd'hui, les énergies fossiles représentent près de 80 % du mix énergétique. Les évolutions des équilibres énergétiques sont lentes en raison de l'inertie qui caractérise le secteur de l'énergie. La transition énergétique prendra des décennies. Si l'efficacité énergétique est un *must*, il est également indispensable de développer et de déployer tout un ensemble de nouvelles technologies qui apporteront une contribution importante aux efforts engagés pour relever le défi climatique. Mais là comme ailleurs, il n'existe pas de panacée. Le développement et la mise en œuvre de ces technologies nécessiteront d'importants efforts d'innovation.

Réchauffement climatique, sécheresses et migrations

Par Thierry GAUDIN

Ingénieur général des Mines honoraire, président de Prospective 2100

<http://gaudin.org>

Les alarmes lancées par les prospectivistes n'ont pas été suivies de réorientations suffisantes pour échapper au scénario catastrophique décrit dès 1970 par le Club de Rome. Pour l'espèce humaine, la plus grave conséquence du réchauffement climatique, celle dont les effets sont déjà visibles, est la multiplication des épisodes de sécheresse. Si des mesures d'une ampleur suffisante ne sont pas prises rapidement, il en résultera des flux migratoires représentant plusieurs centaines de millions d'individus. Quatre voies d'action sont proposées pour éviter que le prolongement des tendances actuelles ne se transforme en une catastrophe humanitaire et écologique. La première consisterait à instituer des fiscalités transnationales pour financer des programmes d'intérêt mondial. La seconde serait la mise en place d'agences de bassin sur le modèle français dans les zones les plus menacées par les sécheresses. La troisième serait la création d'agences dédiées à la construction des infrastructures nécessaires à l'installation des migrants. Enfin, la quatrième, plus globale, consisterait à bâtir un nouveau système monétaire, d'inspiration biologique et systémique, fondé sur l'instauration de monnaies complémentaires.

La prospective est un art inconfortable. Celui qui énonce des anticipations optimistes est soupçonné d'être de mèche avec les puissants. Celui qui alerte sur les dangers à venir est couvert de protestations et, même s'il est entendu par le public, sa voix ne suffit pas à infléchir les décisions.

Des déséquilibres à l'échelle mondiale

Au début des années 1970, le Club de Rome a demandé au MIT ⁽¹⁾ de construire un modèle planétaire permettant d'estimer les trajectoires respectives de la démographie, des ressources naturelles et des pollutions tout au long du XXI^e siècle. Ce modèle rustique comprenait cinq variables : la population, la production alimentaire, la pollution, l'épuisement des ressources et l'industrialisation. Il était l'œuvre d'une équipe dirigée par Dennis et Donella Meadows.

Publié en 1972 sous le titre *The Limits to growth* ⁽²⁾, le rapport correspondant a connu une grande notoriété. Certes, il a été critiqué par des économistes de renom (parmi lesquels Robert Solow), qui lui ont surtout reproché de ne pas assez tenir compte du progrès technique. Néanmoins, il a inspiré un grand mouvement politique mondial. Les « Sommets de la Terre » (Stockholm en 1972, puis Nairobi en 1982, Rio en 1992, Johannesburg en 2002 et à nouveau Rio en 2012), le rapport Brundtland ⁽³⁾ commandé

par les Nations-Unies, ainsi que le sommet qui va se tenir à Paris en cette fin d'année 2015 s'inscrivent dans le prolongement de l'inspiration du rapport demandé par le Club de Rome dans les années 1970 ⁽⁴⁾.

Le 24 mai 2012, Dennis Meadows était à Paris pour présenter au public son livre intitulé *Limits to Growth: The 30-Year Update* ⁽⁵⁾. Il s'agissait pour lui de commenter ce qui s'était passé depuis le rapport de 1972. Et Meadows était furieux, à juste titre. Il montrait les trajectoires prévues par le premier modèle, qu'il avait dirigé au MIT, à l'âge de 29 ans, et constatait que ces trajectoires étaient effectivement celles que suivait le monde. Elles aboutissaient à un effondrement dans le courant du XXI^e siècle. Malgré l'alerte lancée et les « sommets » qui se sont succédé, aucune inflexion perceptible ne s'était produite.

(1) Massachusetts Institute of Technology.

(2) Improprement traduit en français par Halte à la croissance.

(3) Intitulé *Our Common Future*, World Commission on Environment and Development, 1987.

(4) On peut évidemment aussi lui trouver des antécédents, en particulier l'Essai sur le principe de population de Malthus, 1798.

(5) Dont la traduction française est préfacée par Jean-Marc Jancovici, président du Club X - Environnement (qui rassemble des polytechniciens s'intéressant aux problématiques environnementales).

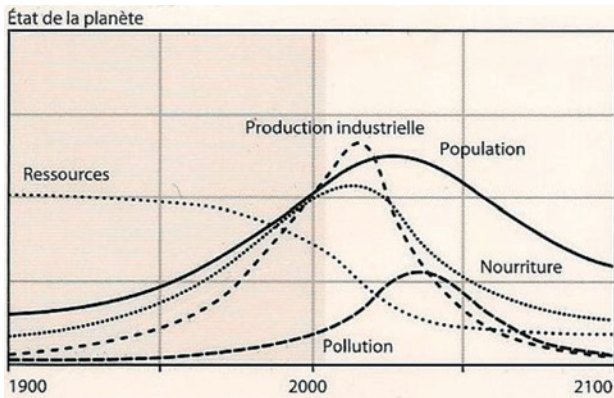


Figure 1 : Le schéma du premier rapport au Club de Rome.

Mes principaux constats sont les suivants :

- En matière de démographie : le pays le plus peuplé, la Chine, a pris des dispositions autoritaires pour limiter sa croissance démographique. Le résultat est là : la population chinoise va vers un plafonnement et les démographes sont même inquiets de la perspective d'un déséquilibre entre générations. Les pays développés ont eux aussi régulé leurs naissances, mais la plupart des autres pays, dont l'Inde et l'Afrique, continuent à laisser croître leurs effectifs. Or, à l'échelle de la planète, la population a été multipliée par sept en deux siècles. Elle est passée de un à sept milliards d'individus, ce qui est une croissance exceptionnelle. Il faut donc s'attendre à des régulations, violentes ou non.
- Pour le réchauffement climatique : j'ai commencé à m'informer sur le sujet en 1988, pour la préparation d'une prospective mondiale ⁽⁶⁾. Les premiers modèles informatiques de la NOAA (*National Atmospheric and Oceanic Agency*, située à Boulder, Colorado) prévoyaient un réchauffement compris entre 3 et 6 degrés en un siècle, avec de grandes variations en fonction des latitudes : le réchauffement serait de +1° près de l'équateur et de +10° à proximité des cercles polaires, avec une montée du niveau des océans de l'ordre de 60 centimètres.

L'an dernier, soit un quart de siècle plus tard, le GIEC, qui mobilise aujourd'hui des milliers de chercheurs, a publié un rapport d'évaluation, qui conclut à une augmentation des températures se situant entre 3 et 6 degrés, accompagnée d'une montée du niveau des océans d'environ 60 centimètres. Ces prévisions sont identiques à celles du rapport de la NOAA cité plus haut. Il faut se rendre à l'évidence : rien n'a changé, les « actions » des gouvernements n'étaient que gesticulation. Seuls les effets de l'accroissement de l'industrialisation des BRICS ont été compensés.

Les mêmes véhicules lourds et polluants continuent de parcourir les rues des grandes villes : l'automobile, c'est en moyenne une tonne et demie de métal qui ne sert bien souvent à transporter qu'une seule personne. À l'échelle mondiale, le nombre de centrales au charbon continue d'augmenter, et le transport aérien, champion des émissions de gaz à effet de serre à la tonne-kilomètre, poursuit sa croissance.

Pourtant, des moyens de réduire la consommation de combustibles fossiles et de réduire les émissions de gaz à effet de serre sont connus depuis longtemps : il y a quarante ans de cela, juste après le premier choc pétrolier de 1973, les *Annales des Mines* publiaient dans un numéro daté d'octobre-novembre 1974 une série de notes faisant référence non seulement à l'énergie éolienne, au solaire et à l'énergie de la houle, mais aussi aux véhicules hybrides et même aux dirigeables, des technologies qui, en 2015, n'en sont toujours qu'à leurs débuts.

Certes, certains progrès ont été réalisés. Les industries ont réduit significativement leurs consommations spécifiques d'énergie. Cela est vrai notamment pour la production d'électricité. Dans de nombreux pays, la mise en place de réglementations thermiques pour les logements neufs a conduit à d'importantes économies d'énergie. En outre, stimulés par des aides et des réglementations favorables, les particuliers ont souvent investi dans l'isolation de leurs logements (généralisation du double vitrage, etc.). Par ailleurs, des municipalités, telles celles de Bordeaux, Orléans, Grenoble, Heidelberg, Vienne ou Curitiba, ont développé des systèmes de transport en commun plus économes et plus propres, des tramways en particulier.

Toutefois, les efforts réalisés sont loin d'être suffisants pour modérer les émissions de gaz à effet de serre dans des conditions permettant de respecter les limites fixées en matière de réchauffement du climat. En effet, nombre de technologies mentionnées plus haut sont encore loin d'avoir atteint leur seuil de rentabilité. Or, les choix d'investissement sont en général effectués sur la base de considérations financières, sans que la dimension environnementale ne soit prise en compte : les calculs de rentabilité ont priorité sur la prospective. En outre, la plupart des pays en développement privilégient la croissance économique à toute autre espèce de priorité.

Les conséquences de cette situation risquent d'être dramatiques s'il n'y est pas remédié rapidement.

Une conséquence dramatique du réchauffement climatique : la multiplication des épisodes de sécheresse

Essayons de faire le point sur les conséquences prévisibles du réchauffement. La principale conséquence pour l'espèce humaine n'est pas dans les effets directs de la chaleur. En effet, dans les régions tempérées, les populations sont habituées à de fortes variations de température pouvant atteindre une cinquantaine de degrés entre l'été (+ 30°C) et l'hiver (-20°C). Deux ou trois degrés en plus ou en moins, c'est supportable.

Autre conséquence : le déplacement des cultures, qui est bien réel. Ainsi, la culture de la vigne commence à se développer en Angleterre, et des milliers d'agriculteurs chinois n'ont pas hésité à franchir la frontière russe pour aller

(6) Thierry GAUDIN, 2100, Récit du prochain siècle, Payot, 1990.

Photo © Peter Dasiliva/The New York Times-REDUX-REA



Un fermier examine le sol desséché de sa ferme, Firebaugh, Californie, avril 2014.

« D'après les cartes prospectives disponibles, les régions les plus touchées par les sécheresses seront le pourtour de la Méditerranée, le Moyen-Orient, le Mexique, le Venezuela, le sud de l'Argentine, l'Australie, la Californie, l'Afrique du Sud et, à un degré moindre, l'ensemble des États-Unis et le sud de la Chine. »

s'installer en Sibérie. Les espèces forestières, elles aussi, migrent lentement sous l'influence du réchauffement.

Une autre conséquence est l'épuisement des ressources. Pour les ressources minérales et énergétiques, nous savons que le relai pourra, au moins pour partie, être assuré par d'autres techniques, telles que l'énergie solaire, mais cela exigera aussi que les pays développés modèrent leur consommation. Un autre problème, bien plus grave, se pose : celui de notre relation à la nature, avec la disparition de plusieurs milliers d'espèces chaque année, notamment dans les océans.

Mais, en ce qui concerne l'espèce humaine, tous ces phénomènes sont secondaires. La plus grave conséquence du réchauffement climatique, celle dont les effets sont déjà visibles, est la multiplication des épisodes de sécheresse. D'après les cartes prospectives disponibles, les régions les plus touchées par les sécheresses seront le pourtour de la Méditerranée, le Moyen-Orient, le Mexique, le Venezuela, le sud de l'Argentine, l'Australie, la Californie, l'Afrique du Sud et, à un degré moindre, l'ensemble des États-Unis et le sud de la Chine ⁽⁷⁾.

Le XX^e siècle a été le siècle du pétrole ; le XXI^e sera celui de l'eau

La Chine et l'Inde sont irriguées par des fleuves qui prennent leur source dans l'Himalaya. La fonte progres-

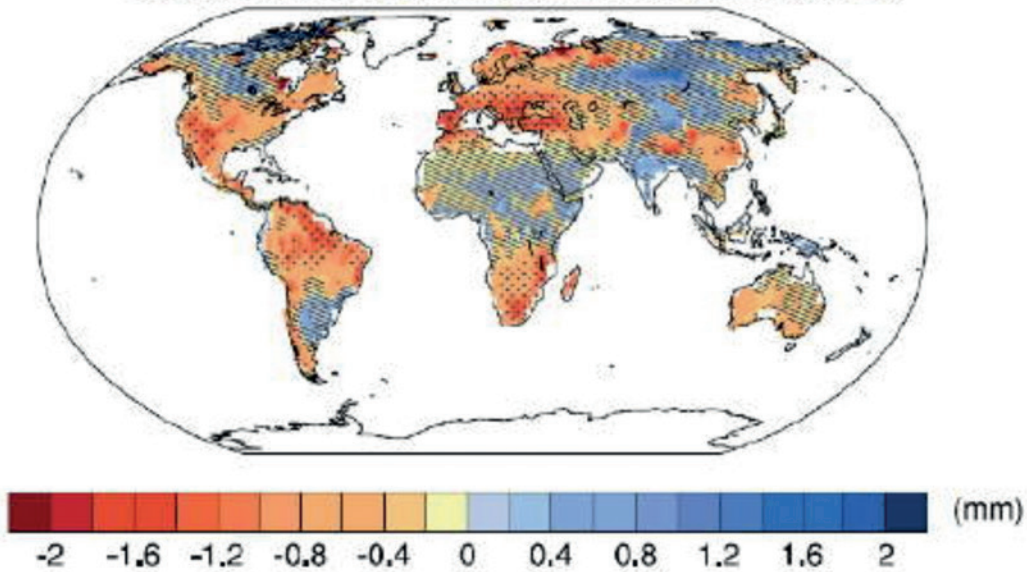
sive des glaciers rendra le régime hydrographique de cette région plus irrégulier. C'est sans doute en prévision de cette irrégularité que ces deux pays ont entrepris la construction d'infrastructures gigantesques : en Inde, ce sont 10 000 kilomètres de canaux qui relient entre eux 45 fleuves ; en Chine, c'est tout une série de barrages qui ont été construits, dont celui des Trois Gorges sur le Fleuve bleu ⁽⁸⁾. Sur le continent américain, le Canada et le Brésil ont eux aussi construit des barrages qui leur fournissent l'essentiel de l'électricité.

Or, la plupart des grands fleuves de la planète traversent plusieurs pays riverains : c'est le cas, en Europe, du Danube et du Rhin, en Afrique, du Nil et du Niger, en Asie, du Mékong et d'autres fleuves prenant leur source au cœur de l'Himalaya. Si, comme on peut l'anticiper, la gestion des eaux devient une question technique et économique de plus en plus difficile à gérer, exigeant des expertises et des modes de gouvernance particuliers, il est alors possible que le modèle français des agences de bassin

(7) Le Sahel semble, quant à lui, plutôt épargné.

(8) D'après des informations récentes (édition du 2 avril 2015 du journal cantonnais Nanfang Zhoumo), les difficultés se multiplieraient autour du Yang-Tsé (le Fleuve bleu) : rupture de digues anti-inondation, insuffisance des alluvions, fragilité des berges. Il semble que l'aménagement de ce fleuve ne se passerait pas comme prévu, ce qui viendrait confirmer la difficulté que pose la réalisation de grands travaux hydrauliques.

Variation de l'humidité moyenne annuelle du sol entre 2081 et 2100 par rapport à la période 1985-2005 d'après le scénario RCP 6.0 (WGII).
Les zones en rouge ont des risques de connaître plus de sécheresses qu'aujourd'hui.



L'humidité du sol est mesurée par la masse d'eau présente dans les dix premiers centimètres du sol. Les zones hachurées indiquent que le changement moyen prévu est faible par rapport aux variations climatiques habituelles. Les zones avec des points indiquent un changement plus marqué et une certitude plus grande des modèles de simulation climatique (Source : ONERC d'après le GIEC)

Figure 2 : Carte GIEC des prévisions de sécheresse entre 2000 et 2100.



Photo © Xiao Yijiu / XINHUA-REA

Le barrage hydroélectrique des Trois Gorges sur le Fleuve bleu (Yangzi Jiang), décembre 2014.

« La Chine et l'Inde sont irriguées par des fleuves qui prennent leur source dans l'Himalaya. La fonte progressive des glaciers rendra le régime hydrographique de cette région plus irrégulier. C'est sans doute en prévision de cette irrégularité que ces deux pays ont entrepris la construction d'infrastructures gigantesques : en Inde, ce sont 10 000 kilomètres de canaux qui relient entre eux 45 fleuves ; en Chine, c'est tout une série de barrages qui ont été construits, dont celui des Trois Gorges sur le Fleuve bleu. »

s'impose à l'avenir comme la référence à l'échelle internationale. Mais un modèle qui devra être repensé, car si aujourd'hui ces agences peuvent aider financièrement les aménageurs, elles ne sont pas autorisées à réaliser elles-mêmes les aménagements, même si elles peuvent influencer sur les choix.

Plus précisément, il pourrait s'agir d'agences transnationales, une par bassin hydrographique, qui percevraient des redevances sur les pollueurs et les consommateurs d'eau, interviendraient pour maintenir la qualité des eaux et participeraient aux décisions d'aménagement des fleuves et des nappes concernés.

Un accroissement massif des flux migratoires

À l'occasion de l'élaboration de son rapport sur les conditions de vie ⁽⁹⁾, une équipe de l'OCDE a constaté que les migrations concernent déjà une cinquantaine de millions de personnes par an. Ce sont principalement des personnes déplacées du fait de guerres, mais aussi de catastrophes naturelles, dont une partie est imputable au changement climatique. De plus, dans certaines zones (notamment en Afrique subsaharienne, en Asie du Sud et en Inde), l'écart entre la population en âge de travailler et le volume des emplois offerts va encore s'accroître.

Face à cette situation, on peut anticiper de forts mouvements de populations fuyant la pauvreté, la famine et la sécheresse ⁽¹⁰⁾. Ces migrations s'ajouteront à celles que l'on connaît aujourd'hui du fait de guerres et de catastrophes naturelles. Lors de discussions internes, des équipes de l'OCDE en ont déduit que ces mouvements de populations pourraient s'amplifier au cours du XXI^e siècle et avancer le chiffre de plusieurs centaines de millions de migrants.

Des centaines de millions de migrants !

Un tel ordre de grandeur nous oblige à réfléchir. Comme nous l'avons rappelé plus haut, la population mondiale a été multipliée par sept depuis deux siècles : une croissance si exceptionnelle qu'elle risque de conduire à un épuisement rapide des ressources et de mettre en cause l'organisation de nos sociétés ! Au XX^e siècle, les migrations étaient surtout dues à des guerres, à des oppressions ou à des difficultés économiques. En ce début du XXI^e siècle, celles dues aux sécheresses ne font que commencer.

Des migrations climatiques ont déjà eu lieu dans un passé lointain : il y a 20 000 ans, le Sahara était encore une savane arborée, comme en témoignent les fresques du Tassili représentant des scènes de chasse. La population de cette région a migré lors du réchauffement qui s'y est produit voici 12 000 ans. Mais ce réchauffement a été vraisemblablement plus lent que celui que nous connaissons aujourd'hui, les migrants d'alors ne se comptaient pas en centaines de millions, et les possibilités de migration vers des régions tempérées étaient sans doute plus faciles.

De par leur ampleur, les migrations qui risquent d'intervenir prochainement constituent un véritable défi mondial. Essayons d'imaginer différents scénarios possibles.

Scénario n°1 : Le prolongement des tendances actuelles

Les États-nations défendent leurs frontières et repoussent les migrants ⁽¹¹⁾. C'est ce qui se produit en général actuellement.

Beaucoup de migrants meurent, mais certains, n'ayant plus rien à perdre, choisissent de mourir les armes à la main. Une nouvelle forme de guerre apparaît : le terrorisme. Certaines mobilisations actuelles, notamment celles qualifiées de « djihadistes », sont sans doute le résultat d'endoctrinements, mais ceux-ci trouvent d'autant plus d'écho qu'ils sont étayés par des situations objectives.

Je me permets ici d'observer que les missions qui ont été confiées au cours des cinquante dernières années aux forces armées de la plupart des pays sont en contradiction avec la raison d'être profonde des militaires. Les armées sont en principe chargées de protéger la vie. Elles ont néanmoins reçu l'ordre de répandre du napalm et des défoliants, et même de dévaster des pays entiers ⁽¹²⁾. En revanche, aucune mission de protection des ressources naturelles ne leur a encore été confiée : la pêche industrielle continue de détruire la faune marine tout comme les exploitants forestiers détruisent la forêt tropicale, et ce sans que la force publique n'intervienne. Or, les océans et les forêts sont les deux plus grands réservoirs de biodiversité. Donc, ce qui représente un véritable danger systémique à long terme n'est pas maîtrisé, alors que des sommes astronomiques sont englouties dans des conflits d'inspiration doctrinale ou économique, voire tribale. Tout se passe comme si les dirigeants du monde continuaient à raisonner en priorité avec leur cerveau reptilien.

Un conflit dû aux sécheresses conduirait presque inévitablement au plus grand génocide que l'humanité ait jamais connu, au fait de la masse des populations concernées et de l'utilisation possible d'armes de destruction massive ⁽¹³⁾. La situation serait alors en contradiction avec toutes les prescriptions humanitaires. Comme l'a dit récemment Angela Merkel, la Chancelière allemande : « *Si l'Europe échoue sur la question des réfugiés, son lien étroit avec les droits civils universels sera cassé, détruit* ». La conscience des humains serait alors mise en berne pour plusieurs générations.

(9) Securing livelihoods for All, *Development Centre Studies, OECD, 2015* <http://www.oecd.org/development/securing-livelihoods-for-all-9789264231894-en.htm>

Voir également EpE (Entreprises pour l'environnement - epe-asso.org), Mesurer et piloter l'eau, 2015.

(10) Le film *Le Sel de la terre*, consacré au photographe brésilien Sebastião Salgado, donne à voir les conditions de vie terribles des populations de la corne de l'Afrique confrontées à la famine et à la rareté de l'eau. À l'opposé, il montre, en Amazonie, les possibilités d'une restauration végétale d'espaces laissés à l'abandon : c'est une ouverture sur la notion de « jardin planétaire ».

(11) Une part importante des 4 millions de migrants en provenance de Syrie fuit ce pays pour des raisons liées à la sécheresse.

(12) Un exemple édifiant est l'opération « Tempête du désert » menée en Irak du 17 janvier au 28 février 1991.

(13) Indépendamment de ce que Susan George a imaginé dans ses deux livres titrés Rapport Lugano.



Photo © Thomas Grabka/ LAIF-REA

Réfugiés climatiques somaliens au camp de Dadaab au Kenya, août 2015.

« L'OCDE a constaté que les migrations concernent déjà une cinquantaine de millions de personnes par an. Ce sont principalement des personnes déplacées du fait de guerres, mais aussi de catastrophes naturelles, dont une partie est imputable au changement climatique. »

Scénario n°2 : Les peuples et les nations conviennent de s'organiser...

...nécessairement au niveau mondial, pour construire des structures d'accueil et canaliser les énormes flux migratoires engendrés par les sécheresses. Quelles destinations s'offrent aux migrants ? L'Europe du Sud ? Celle-ci est déjà densément peuplée et elle sera elle-même frappée par la sécheresse ; en outre les migrants se dirigent en général vers des villes où presque rien n'est prévu pour pouvoir les intégrer, que ce soit en termes de logement, de revenu ou de couverture sociale. La Sibérie, le Canada et la Scandinavie ? Sans doute, mais il faudrait au préalable que ces régions soient aménagées de manière à ce que les nouveaux arrivants puissent y produire de quoi survivre, ce qui suppose des infrastructures adaptées.

L'ampleur des investissements nécessaires pour pouvoir accueillir des centaines de millions de migrants oblige à s'interroger sur la faisabilité des réponses préconisées dans ce scénario n°2. Les travaux immenses à réaliser sont pour la plupart des investissements publics, des biens communs qui, d'habitude, sont financés par l'impôt (les *commons*). C'est seulement dans un second temps, après une période d'adaptation, que les activités des migrants, sans doute d'abord orientées vers l'autoproduction agricole et alimentaire, pourront s'intégrer dans des circuits industriels ou commerciaux.

Or, les États sont mis en concurrence par ce que les comptables appellent « l'optimisation fiscale », autrement dit l'art d'installer ses activités dans des lieux où la fiscalité est la plus avantageuse. De ce fait, les ressources financières affectées aux biens communs sont en baisse, et l'on ne voit pas comment les moyens nécessaires pourraient être dégagés dans le cadre du système financier et monétaire actuel. Il s'agit en effet de construire des structures permettant l'accueil de centaines de millions de réfugiés climatiques, en particulier dans des régions du monde que le réchauffement climatique rendra habitables (notamment au Canada, en Sibérie et en Scandinavie).

La mise en œuvre de ce second scénario exigerait donc une concertation et une collaboration à l'échelle internationale (mondiale) d'une ampleur jamais atteinte à ce jour. En premier lieu, une fiscalité mondiale devrait être mise en place, reposant sur deux sources potentielles de financement, qui sont déjà identifiées :

- la première est la taxe sur les transactions financières suggérée dès 1972 par le prix Nobel d'économie James Tobin. Son taux serait compris entre 0,01 % et 0,05 %, et son produit serait encaissé par le Fonds Monétaire International. Cette taxe présenterait en outre l'avantage de réguler la pratique du « *trading haute fréquence* », et plus généralement de calmer les flux de capitaux spéculatifs ;
- la seconde serait une taxe sur les carburants utilisés pour

le transport aérien. Ce mode de transport, qui présente certes de grands avantages, est néanmoins un très gros émetteur de gaz à effet de serre : à titre d'exemple, en un seul aller et retour transatlantique, un passager européen émet l'équivalent de son quota annuel de gaz carbonique. Le produit de cette taxe devrait logiquement être affecté à une agence mondiale, qui aurait pour mission de contribuer au financement d'investissements permettant des économies d'énergie.

De telles dispositions fiscales contribueraient certainement à infléchir certains de nos comportements, mais elles seraient encore loin d'être suffisantes, dès lors que resterait intacte la mécanique ultralibérale imaginée par Ricardo ⁽¹⁴⁾. En effet, il faut aussi envisager une transfor-

mation radicale du système monétaire actuel (je dis bien monétaire et non pas financier). Pour bien appréhender cette question, il faut revisiter la genèse du système monétaire actuel, depuis le début du XX^e siècle.

La crise financière américaine de 1907 avait suscité dans le public un mouvement de défiance vis-à-vis des banques, et les épargnants commençaient à en retirer leurs fonds. Le gouvernement américain a alors organisé une réunion secrète, en novembre 1910 à Jekyll Island, au large des côtes de l'État de Géorgie. Sous l'égide du sénateur Aldrich, les travaux étaient animés par le banquier J. P. Morgan, qui avait risqué toute sa fortune pour enrayer le désastre boursier de 1907, et surtout par Paul Warburg, un jeune et brillant banquier d'origine autrichienne. C'est lors de cette réunion qu'ont été posées les bases du système monétaire actuel, dont l'institutionnalisation a été menée en trois étapes : en 1913, une loi des États-Unis a créé la *Federal Reserve*, la banque centrale fédérale américaine ; en 1944, le *Gold exchange Standard* a été instauré lors de la réunion de Bretton Woods à laquelle participaient 40 pays ; et, en 1971, la convertibilité du dollar en or a été abandonnée du jour au lendemain par une décision du Président américain de l'époque, Richard Nixon.

Le monde est désormais régi par un système reposant sur une monnaie scripturale émise par les banques commerciales en contrepartie de dettes produisant des intérêts, donc dans une perspective de rentabilité commerciale à relativement court terme. En d'autres termes, la création de monnaie intervient désormais lorsque les banques accordent un prêt (dans la perspective d'un remboursement avec intérêts) ; si elles ont besoin de trésorerie, elles s'adressent à leur banque centrale.

Dès lors, progressivement, les États se sont vu déposséder de leur prérogative de battre monnaie, et même contraints d'emprunter auprès des banques commerciales. C'est notamment le cas en Europe, où l'article 123 du Traité de Lisbonne prévoit que les États doivent s'adresser aux « marchés », c'est-à-dire aux banques, abandonnant ainsi une partie essentielle de leur souveraineté.

Cette contrainte exercée par les financiers a une justification : elle permet de résister aux penchants démagogiques des politiciens. Néanmoins, la position défendue par Paul Warburg est bien que la légitimité démocratique s'arrête là où commence celle des hommes d'argent, lesquels, depuis le début du XX^e siècle, ont étendu leur logique à toute la planète : « *Le plan... relève des conceptions de la Banque d'Angleterre, qui confie l'entière gestion aux mains des hommes d'affaires sans concéder au gouvernement une part quelconque dans la gestion ou le contrôle. L'argument fort de cette théorie est que l'activité de la banque centrale, comme celle de toute autre banque, est fondée sur le crédit et que l'évaluation des crédits est une affaire qui doit être laissée entre des mains expertes, et que [par voie de conséquence, NDLR] le gouvernement doit être tenu à l'écart des affaires.* ». Le point de vue de

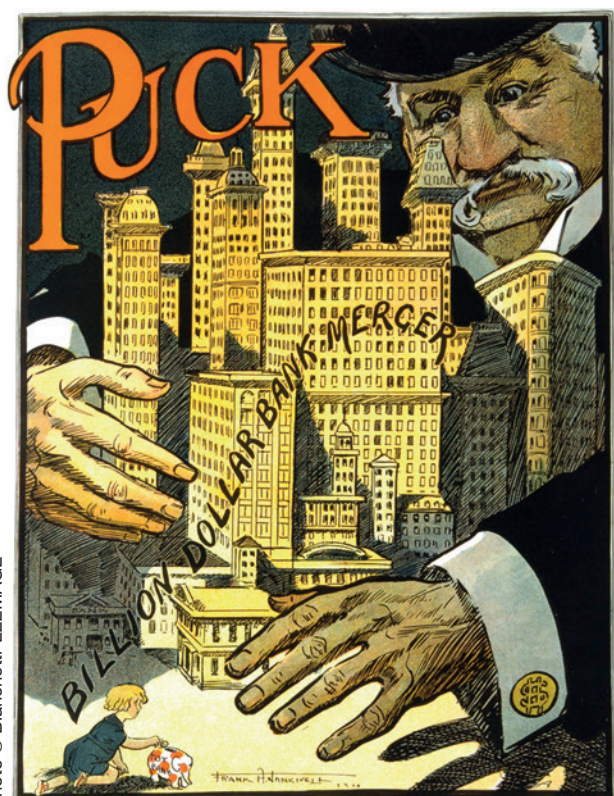


Photo © Bianchetti-LEEMAGE

Caricature sur John Pierpont (J.P.) Morgan (1837-1937) parue dans le *Magazine Puck* de février 1910 – Illustration de Frank Arthur Nankivell (1869-1959).

« La crise financière américaine de 1907 avait suscité dans le public un mouvement de défiance vis-à-vis des banques, et les épargnants commençaient à en retirer leurs fonds. Le gouvernement américain a alors organisé une réunion secrète, en novembre 1910 à Jekyll Island, au large des côtes de l'État de Géorgie. Sous l'égide du sénateur Aldrich, les travaux étaient animés par le banquier J. P. Morgan, qui avait risqué toute sa fortune pour enrayer le désastre boursier de 1907, et surtout par Paul Warburg, un jeune et brillant banquier d'origine autrichienne. C'est lors de cette réunion qu'ont été posées les bases du système monétaire actuel. »

(14) David RICARDO, *Principes de l'économie politique et de l'impôt*, 1817.

Warburg était compréhensible à l'époque, puisqu'il s'agissait de restaurer la confiance après la crise de 1907. Après les turpitudes financières des années 2000, on peut se demander s'il est encore défendable de nos jours.

Les conséquences de cette prise de pouvoir par les banques sont multiples : il est clair que le système financier a favorisé l'essor de l'industrialisation et, plus récemment, le développement des communications. Ces progrès ont beaucoup apporté à l'humanité. Ils lui ont permis de surmonter certaines pénuries et ont facilité la compréhension mutuelle. Mais plus récemment, des conséquences plus indirectes mais très inquiétantes sont apparues : il s'agit, d'une part, de la surconsommation des ressources naturelles, minérales et surtout biologiques, et, d'autre part, du développement de différentes formes d'addiction.

Quoi qu'il en soit, il est clair que la logique financière actuelle est incompatible avec le scénario 2, qui exige un accroissement massif des ressources et surtout de la quantité de travail dédiée à la construction de biens communs. Dès lors, si l'on souhaite que ce scénario 2 se concrétise, à la fois pour des raisons humanitaires et pour préserver les ressources naturelles, un préalable est de reconsidérer le système monétaire actuel, et plus précisément le processus de création de la monnaie.

En 2012, Dennis Meadows a préfacé un nouveau rapport, *Money and sustainability, the missing link* rédigé par Bernard Lietaer à la demande du Club de Rome européen. Dans cette préface, Meadows écrit qu'il n'avait encore jamais imaginé qu'un autre système monétaire puisse résoudre des situations aussi difficiles que celles auxquelles le monde est confronté aujourd'hui. Néanmoins, ce nouveau paradigme de l'analyse économique lui semble une voie pertinente. Mais de quoi s'agit-il exactement ?

Au niveau cellulaire, l'échange d'informations conditionne le maintien en vie ⁽¹⁵⁾. Chez tous les êtres vivants, cet échange est assuré par une grande diversité de supports chimiques. Inspiré par une logique d'écosystème, le rapport de Bernard Lietaer fait une recommandation à contre-courant du mouvement d'unification en cours depuis plus d'un siècle : il s'agit d'installer peu à peu une diversité de monnaies, et même de concevoir un « design monétaire » visant à orienter progressivement les comportements humains vers plus de convivialité et un plus grand respect de la nature.

C'est un véritable changement de paradigme. Et comme toutes les ruptures conceptuelles, il est difficilement compréhensible par ceux qui sont en charge de gérer le système en place.

Il ne s'agit pas pour autant de revenir aux monnaies nationales (en Europe, ce serait plutôt perçu comme une régression), ni de supprimer l'euro, mais plutôt de le faire coexister avec des monnaies gérées par divers opérateurs à différents échelons géographiques, par exemple au niveau des régions ou des municipalités. Les performances de l'informatique et des réseaux permettent aujourd'hui d'envisager de telles solutions.

Conclusion

Sans appeler pour autant à une remise en cause complète du système actuel, quatre voies d'action complémentaires semblent possibles :

1 - La première consisterait à instituer des fiscalités transnationales (mondiales) destinées à alimenter des réseaux de surveillance, d'analyse scientifique et d'intervention. La taxe Tobin sur les transactions financières et la taxe sur les carburants utilisés dans l'aéronautique, qui se sont heurtées jusque-là à des divergences d'intérêt entre les États-nations, pourraient en fournir la base.

2 - La seconde serait la mise en place d'agences de bassin (à cheval sur plusieurs pays, pour la plupart) dans les zones les plus menacées par les sécheresses. Comme leurs équivalentes françaises, ces agences seraient financées par des redevances sur les prélèvements d'eau et les pollutions occasionnées.

3 - La troisième consisterait en une stratégie de construction et de gestion de biens communs, dont le financement serait assuré, entre autres, par une création de monnaie émanant directement du FMI ⁽¹⁶⁾ au profit d'agences d'aménagement dédiées à la construction des infrastructures nécessaires à l'installation des migrants.

4 - La quatrième, plus globale, consisterait à construire un nouveau système monétaire, d'inspiration biologique et systémique. L'accueil de centaines de millions de migrants fuyant les conséquences des sécheresses en fournit l'occasion. L'instauration de monnaies complémentaires, essentiellement d'usage local ou sociologique ⁽¹⁷⁾ (design monétaire), permettrait de donner aux citoyens le pouvoir de créer la monnaie, tout en les responsabilisant. Cela aurait un double avantage : permettre de revitaliser les circuits d'approvisionnement locaux et inciter la population à adopter des comportements plus « durables » et plus responsables.

On peut espérer que les problèmes que pose aujourd'hui l'afflux massif de migrants en Europe vont stimuler les gouvernements et permettront d'accélérer la tenue de négociations internationales véritablement conclusives, notamment en ce qui concerne l'instauration des taxes et des agences proposées ci-dessus, ainsi que la redéfinition du rôle du FMI. Je suis cependant bien conscient que la proposition, pourtant essentielle, émise par le Club de Rome européen en 2012, consistant à créer des monnaies complémentaires, sort du cadre conceptuel habituel des économistes. Aussi a-t-elle été accueillie jusqu'à présent, en France du moins, par un silence assourdissant ⁽¹⁸⁾.

(15) Jean-Claude AMEISEN, *La Sculpture du vivant*, 1999.

(16) *Fonds Monétaire International*.

(17) *On en compte déjà plusieurs milliers dans le monde. Pour les fondements théoriques, voir Money and sustainability, the missing link, le rapport élaboré par Bernard Lietaer à la demande du Club de Rome européen (le titre de cet ouvrage a été maladroitement traduit en français par : Halte à la toute-puissance des banques). Pour une présentation d'exemples plus concrets, se reporter aussi à l'ouvrage de Philippe Derudder, Les Monnaies locales complémentaires : pourquoi, comment ?*

(18) *Se reporter, par exemple, aux exposés de Jacques de la Rosière, Michel Pébereau et Jean-Claude Trichet devant l'Académie des Sciences morales et politiques, le 2 mars 2015.*

Le secteur des terres : solution au problème du dérèglement climatique ?

ou « un futur brillant pour l'agriculture ⁽¹⁾ »

Par Guillaume BENOIT

Ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts, membre du Conseil général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces ruraux (CGAAER)

"If we control what plants do with carbon, the fate of CO₂ in the atmosphere is in our hands"

« Le jour où nous serons à même de contrôler ce que les végétaux font du carbone, nous aurons réglé son sort au gaz carbonique présent dans l'atmosphère ».

Freeman Dyson, BioScience, 2008.

Bien que le grand public et nombre de décideurs n'en aient pas encore pris conscience, l'agriculture, la forêt et les sols (autrement dit le « secteur des terres ») sont une partie essentielle de la solution à la crise climatique, grâce notamment aux progrès possibles en matière de stockage de carbone et de substitution. Alors que de nombreux sols sont dégradés et que l'agriculture et la sécurité alimentaire sont menacées par le dérèglement climatique, au risque déjà bien perceptible de migrations et d'instabilités de grande ampleur, des solutions existent. Ces solutions laissent voir (notamment en Afrique) les voies possibles d'un développement durable. Leur généralisation présuppose cependant de reprendre conscience de l'importance stratégique des ressources rurales, de la nécessité de faire de la sécurité alimentaire un objectif central de la COP 21, de mieux gérer et de mieux valoriser l'eau, les sols et la forêt, de chiffrer les progrès possibles du secteur des terres et de financer et réussir le développement. Or, la négociation climatique, pour réussir, devra justement intégrer tous ces enjeux.

Pourra-t-on relever le défi climatique ? Et si oui, comment ?

Certainement pas sans le « secteur des terres » (AFOLU : *Agriculture, Forestry and Other Land Use*), puisque celui-ci représente « de 20 à 60 % du potentiel mondial d'atténuation à l'horizon 2030 » (5^{ème} rapport du GIEC, 2014).

Pourquoi ? Parce qu'il est possible d'agir sur plusieurs leviers non seulement pour réduire les émissions du secteur agricole [méthane (CH₄), protoxyde d'azote (N₂O), dioxyde de carbone (CO₂)], mais aussi pour renforcer les mécanismes qui font des bois et des champs de véritables « pompes à carbone » capables d'absorber une partie du carbone en excès dans l'atmosphère pour le stocker dans la biosphère terrestre sous la forme de biomasse (bois...) et de matière organique dans les sols. Les produits bio-sourcés non alimentaires (bois et autres fibres, bioé-

nergie et chimie verte), en venant se substituer ensuite à des produits conventionnels (pétrole, charbon, ciment...) très émissifs en gaz à effet de serre (GES) permettent en outre d'éviter des émissions importantes de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Ainsi, grâce au double effet du stockage et de la substitution, le secteur des terres a ceci d'unique de pouvoir agir comme un double *amortisseur de la dérive climatique* de la planète. Ici, le gain en carbone doit se calculer en « émissions compensées » (grâce au stockage de carbone dans la biosphère terrestre : sols et biomasse) ainsi qu'en « émissions évitées dans d'autres secteurs » (grâce à la

(1) Selon l'affirmation du professeur Rattan Lal, du Carbon management and Sequestration Center de l'Université de l'État de l'Ohio (États-Unis).

substitution par des produits biosourcés), et pas seulement en « réductions d'émissions du secteur ».

Cependant, l'équation à résoudre pour réussir la lutte contre le changement climatique à travers le secteur des terres est complexe, car elle doit pouvoir prendre en compte les questions relatives à la sécurité alimentaire, à l'eau et aux sols, aux territoires et aux filières, ainsi qu'au développement agricole et rural et aux visions et aux politiques. Il convient aussi de pouvoir mesurer les progrès et se donner des objectifs qui soient à la fois réalistes et ambitieux. Elle justifie donc un agenda d'actions spécifique en vue de la COP21 et de l'après-COP21.

Le secteur des terres (agriculture, forêts et sols) : une équation complexe à résoudre pour relever le double défi alimentaire et climatique

Si l'agriculture, la forêt et les sols peuvent apporter une contribution déterminante à la lutte contre le changement climatique, ils ont bien d'autres fonctions à remplir que d'être seulement des amortisseurs climatiques. Le premier défi à relever restera celui de la sécurité alimentaire. En effet, près d'un milliard de personnes souffrent toujours de malnutrition, dont 3/4 sont des ruraux. Nous serons 2,5 milliards de plus d'ici à 2050 et la production agricole devra s'être accrue de 60 % à cet horizon (FAO, 2012). L'agriculture et la forêt sont en outre très menacées par le dérèglement climatique. Elles ne pourront donc assurer la sécurité alimentaire et agir efficacement pour l'atténuation qu'à la condition de pouvoir s'y adapter. Enfin, si l'adoption de bonnes pratiques permet de stocker du carbone, rien n'est irréversible, des déstockages étant toujours possibles. Le changement climatique a d'ailleurs pour conséquence d'accroître ces risques de déstockage. Le défi que le monde doit relever consiste donc à **promouvoir des solutions à triple gain**, c'est-à-dire arriver à **conjuguer adaptation, atténuation et production/sécurité alimentaire**.

Une des questions à prendre en considération dans l'équation à résoudre est celle de *l'inégale répartition géographique des ressources, des besoins et des vulnérabilités*.

Les ressources naturelles qui sont la base de la production agricole, c'est-à-dire l'eau et la terre, sont en effet très mal réparties. Or - grand paradoxe mondial - depuis plusieurs décennies la croissance démographique est deux fois plus rapide dans les zones sèches (arides et semi-arides) que dans les zones mieux arrosées (WATARID, MARGAT, 2013).

Ainsi, les besoins (en alimentation, en emplois...) croissent beaucoup là où les ressources sont le plus limitées ! Les ressources, notamment les biens communs (eau, pâturages, forêts...), étant mal gérées et soumises à d'intenses pressions, elles sont souvent surexploitées et dégradées dans ces pays. Dans ce contexte, l'approvisionnement alimentaire des populations nécessite un recours toujours croissant aux importations : la région Afrique du Nord-Moyen-Orient a ainsi importé 69 millions de tonnes de céréales en 2010 (contre 3 en 1950), et la prospective

Agrimonde INRA-CIRAD montre que cette dépendance pourrait encore plus que doubler d'ici à 2050. Or, avec la crise alimentaire de 2007-2008, la question de la sécurisation des approvisionnements est devenue d'importance stratégique. Les pays pauvres en ressources naturelles mais disposant de ressources financières confortables ont donc tendance à vouloir s'accaparer les ressources d'autres pays, ce qui peut entraîner des conflits si des systèmes à gains mutuels ne sont pas trouvés. Ainsi, les ressources peu valorisées de l'Afrique subsaharienne sont convoitées, mais ce continent est aussi celui où la croissance des besoins mal satisfaits et la vulnérabilité au changement climatique sont les plus fortes.

De plus, la question des sols, de l'agriculture et de la forêt, en dépit de sa spécificité et de son importance stratégique, n'a jamais été réellement bien prise en compte dans une négociation restée trop longtemps l'affaire des diplomates, des climatologues, des énergéticiens et des environnementalistes, mais pas assez celle des agronomes, des forestiers et des paysans. Les systèmes d'inventaire des GES (gaz à effet de serre) et de rapportage n'incitent absolument pas à se doter d'une vision juste et d'une action éclairée dans le secteur des terres. Faute d'une bonne prise en compte des enjeux de sécurité alimentaire, la question agricole demeure problématique dans la négociation et nombre de pays en transition et en développement veulent limiter le sujet au seul volet « adaptation ». En effet, ils n'entendent pas mettre en difficulté un secteur qui, vital pour nourrir leurs populations, occupe souvent plus de 50 % de leurs actifs ou représente un potentiel d'exportations d'importance stratégique. Le risque est donc celui d'une addition d'engagements nationaux très en deçà à terme de ce qui serait nécessaire pour réussir à ne pas dépasser l'accroissement maximal de 1,5 à 2°C de la température atmosphérique à l'horizon 2100.

Relever le défi alimentaire et, dans le même temps, faire du secteur des terres un puissant levier de lutte contre le changement climatique, cela impose de prendre en compte le sujet dans sa dimension *systémique*, de raisonner nos interrelations en termes de solutions et de mieux gérer et valoriser les *ressources rurales*, lesquelles sont à la fois naturelles (l'eau, les sols, les prairies et les forêts), humaines (les agriculteurs et les agricultrices, les communautés rurales), biologiques et culturelles (les savoir-faire). C'est d'abord une question de développement agricole et rural, et avant tout de prix, car bien gérer l'eau et les sols pour produire des biens et des services (comme le stockage de carbone), cela suppose de disposer de revenus suffisants - ce qui n'est pas le cas aujourd'hui. Ainsi, ce sont nos visions environnementales, sociales et économiques et nos politiques qu'il nous faut réinterroger.

La question de l'eau et la montée des risques annoncée par le GIEC

Sans eau, il n'y a pas d'agriculture et « *comme les agriculteurs utilisent plus de 90 % de la ressource en eau utilisée par les hommes, ils en sont les principaux gestionnaires* » (ALLAN (T.), *World Water Prize 2008*). À l'eau qui sert à l'irrigation, soit 70 % du total de l'eau « bleue » prélevée

dans les fleuves et les autres aquifères, s'ajoute l'eau dite « verte »⁽²⁾ qui permet la production agricole non irriguée (production en pluvial). Toute l'eau prélevée n'est pas « consommée » (c'est-à-dire évaporée ou transpirée). Et si l'eau consommée peut faire défaut en aval, elle n'en est pas pour autant perdue : elle reviendra aux territoires sous la forme de pluies. L'eau servant aux cultures irriguées et pluviales, mais non absorbée par les plantes peut en outre s'infiltrer dans les sols et venir alimenter les nappes phréatiques au bénéfice d'autres cultures irriguées ou d'autres usages : ainsi, l'irrigation permet, par exemple, d'alimenter la nappe de la Crau qui, dans le sud de la France, dessert plus de 200 000 personnes en eau potable.

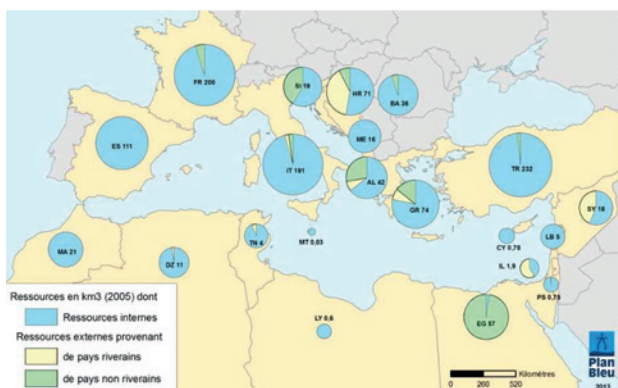
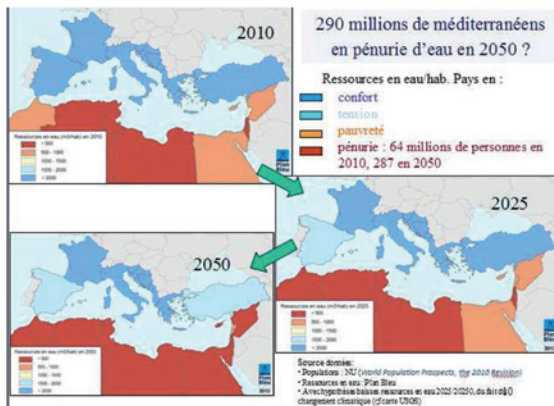
Bien qu'abondante sur la planète, la ressource en eau douce est mal répartie. L'espace méditerranéen en donne une illustration parlante. Alors que dans les pays de la rive sud de la Méditerranée (du Maroc à la Syrie), le total prélevé représente 116 % des ressources conventionnelles potentielles, dans les pays de la rive nord (du Portugal à la Turquie), cette part n'est que de 13 %. Et avec la démographie et le climat, tous les pays de la rive sud (excepté le Liban), soit près de 300 millions d'habitants, devraient subir une situation de pénurie hydrique (< 500 m³/habitant/an) en 2050.

Ainsi, si au Maghreb, 30 % de l'eau bleue prélevée est déjà « non durable », c'est-à-dire qu'elle provient de nappes fossiles ou de la surexploitation de nappes renouvelables, en France, au contraire, le total de l'eau consommée ne représente que 3 % des écoulements (5,35 km³/175 km³). Si l'eau peut faire défaut en France durant certains étés, cela est donc dû d'abord au défaut de stockage des excédents hivernaux⁽³⁾.

Or, avec le changement climatique, il pleuvra trop ou pas assez, et pas là, ni au moment où on le souhaiterait. En outre, les zones sèches, notamment du Sud et de l'Est méditerranéens comme de l'Afrique de l'Ouest, enregistreront une forte réduction de leurs précipitations et des écoulements. Déjà, la variabilité accrue des pluies et la multiplication des sécheresses et des inondations sont vécues comme des calamités par les populations rurales de nombre de ces régions. Le drame que connaît actuellement la Syrie y trouverait pour partie son origine. Avec l'augmentation des températures moyennes, les rendements agricoles auront tendance à baisser et le besoin en eau des plantes s'accroîtra tant dans les cultures pluviales que dans les cultures irriguées. Les étiages seront donc plus sévères et plus longs au moment même où les besoins en eau seront eux fortement accrus. Comme le montre la prospective *Garonne 2050*, des infrastructures de stockage seront donc nécessaires si l'on veut sécuriser l'activité agricole ou/et préserver la qualité des milieux aquatiques.

Le rapport du GIEC annonce donc de forts risques d'instabilité. La sécurité alimentaire sera affectée dans ses quatre dimensions (disponibilité, accessibilité, stabilité et qualité), et ce tout au long du siècle. Les principaux risques sont relatifs à la mise en péril des moyens d'existence des ruraux suite à la variabilité des précipitations et aux sécheresses, ainsi qu'à la perte de productivité agricole et au défaut d'accès à l'eau d'irrigation. On peut craindre une multiplication des trappes à pauvreté, des migrations importantes et des faillites d'États.

Face à la montée des risques et des besoins, la bonne gestion de l'eau apparaît comme une condition déterminante de la réussite du triple gain : adaptation, atténuation et production/sécurité alimentaire. Le stockage d'une partie des excédents de pluies en période pluvieuse en vue de leur utilisation ultérieure lors de périodes plus sèches peut en effet sécuriser la production agricole, et donc contribuer à la stabilité sociale et politique. Il est d'importance vitale dans les pays de climat méditerranéen, où les pluies sont hivernales et où les fins de printemps et les étés sont terriblement secs. L'accès à l'eau, notamment sous la forme d'une irrigation d'appoint, peut aussi permettre de sécuriser et d'accroître la production : en moyenne, sur la planète, un hectare irrigué produit 3 fois plus qu'un hectare exploité en culture pluviale. La sécurisation de l'accès à l'eau a aussi pour avantage d'aider les agriculteurs à prendre le risque d'un changement dans



Figures 1 et 2 : Les ressources en eau dans les pays méditerranéens : situation 2005 et projection 2050.

(2) L'eau « bleue » est celle qui coule et peut être captée pour être distribuée. L'eau « verte » est la part des pluies qui s'évapore de la surface des sols ou qui est utilisée par les plantes pour leur croissance et leur transpiration (FALKENMARK et ROCKSTÖRM, 2006 ; ISRIC, 2010).

(3) La capacité de stockage installée dans nos bassins les plus sollicités du Sud-ouest ne représente d'ailleurs que quelques pourcents, seulement, des écoulements annuels, contre 50 % dans le bassin de l'Ebre en Espagne et 200 % dans celui de l'Oum er-Rbia, au Maroc. Et ces écarts ne cessent de se creuser, car nos voisins du Sud, qui connaissent l'importance de l'eau, ne cessent d'investir dans la construction de barrages. Or, d'ici quelques décennies, Bordeaux aura un climat proche du climat actuel de Séville.



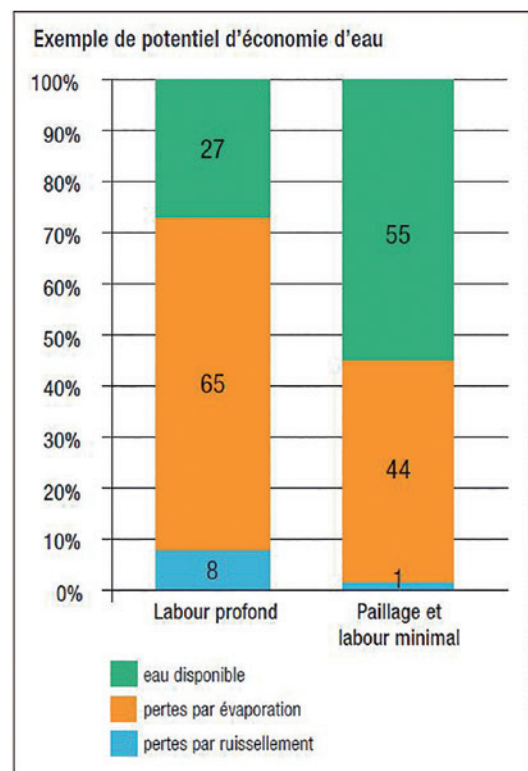
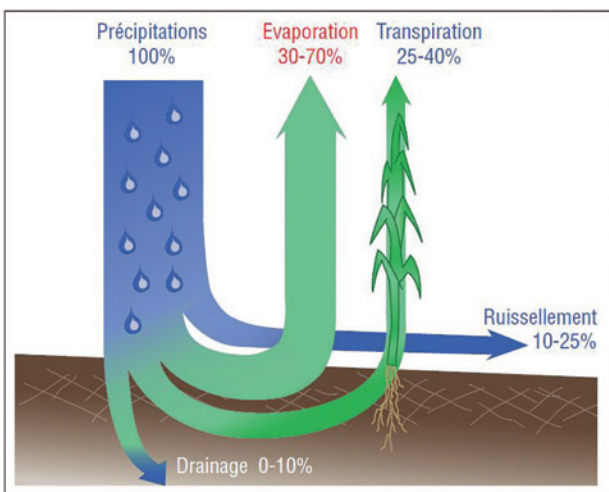
Photo © Jean-Claude Moschetti/REA

Installation de panneaux photovoltaïques destinés à alimenter des pompes d'irrigation, Porto Novo (Bénin), mars 2005.

« L'accès à l'eau, notamment sous la forme d'une irrigation d'appoint, peut aussi permettre de sécuriser et d'accroître la production : en moyenne, sur la planète, un hectare irrigué produit 3 fois plus qu'un hectare exploité en culture pluviale. »

leurs pratiques en vue de transitions réussies vers des agricultures agro-écologiques et climato-intelligentes.

La collecte des eaux de pluie et la bonne rétention de l'eau dans les sols sont tout aussi importantes : elles permettent, en culture pluviale, de réduire les risques d'effondrement des rendements en cas de sécheresse, elles font que l'eau est davantage transpirée qu'évaporée, et donc plus productive, et elles peuvent favoriser l'infiltration, et donc la « production » d'eau en aval au bénéfice de différents utilisateurs, en même temps qu'elles assurent, dans une certaine mesure, une réduction des risques d'inondation.



Figures 3 et 4 : Eau verte et eau bleue, eau productive (transpirée) et eau improductive (évaporée). Les pratiques agro-écologiques (exemples : zéro labour, paillage) peuvent accroître fortement la productivité de l'eau.

Source : La pratique de la gestion durable des terres ; TerrAfrica, FAO, WOCAT, 2011.

Le rapport du GIEC a chiffré à 225 milliards de dollars les investissements nécessaires dans 200 pays, d'ici à 2030, en matière de stockage et d'irrigation, et ce, pour le seul maintien des services actuellement rendus par l'eau. Dans son chapitre consacré à l'Europe, la relation eau/agriculture est considérée comme un des trois risques importants à prendre en considération : il plaide en faveur d'investissements dans des infrastructures et d'une irrigation efficiente afin de pouvoir satisfaire les nouveaux besoins en eau et prévenir les conflits d'usage.

Le stockage de l'eau, le développement de l'irrigation et la rétention de l'eau dans les sols grâce à des pratiques agro-écologiques doivent donc être compris aujourd'hui comme des outils essentiels de gestion des risques.

La gestion des sols et le stockage du carbone : un « pont » pour la survie de l'humanité ?

À l'instar de l'eau, les sols, deuxième fondement de l'agriculture et de la forêt, sont et font la vie. Et, grâce à la vie, ils renferment de 2 à 3 fois plus de carbone que l'atmosphère. Le stock de carbone organique dans la couche superficielle (de 0 à - 40 cm), permafrost non compris, est estimé à 820 gigatonnes de carbone (GtC) : ce chiffre est à comparer aux émissions annuelles de carbone fossile (dues à la combustion du pétrole, du charbon, du gaz...), qui sont évaluées à 8,9 GtC⁽⁴⁾, ou aux séquestrations annuelles de carbone atmosphérique dans les océans (permises notamment par le plancton) et dans la biosphère terrestre (par les forêts, les toundras, les taïgas, les prairies, les terres agricoles...) évaluées respectivement à 2,6 et à 2,8 GtC/an, soit un total de 5,4 GtC/an⁽⁵⁾.

Ainsi, l'INRA a calculé que si l'on réussissait à accroître chaque année ce stock de « 4 pour 1 000 », on pourrait compenser l'ensemble des émissions anthropiques

« nettes » de CO₂⁽⁶⁾. Il faudrait pour cela mieux gérer l'eau et les sols, et améliorer le rendement de la photosynthèse⁽⁷⁾.

Mais quel progrès peut-on réellement espérer, et pendant combien de temps ?

Si le stock de carbone organique dans les sols superficiels de la planète est important, la richesse des teneurs en carbone est, elle, variable. Elle est notamment faible au Moyen-Orient et en Afrique, et ce, d'autant plus que les sols sont érodés et dégradés. Or, cette dégradation est très élevée dans les zones sèches de la planète, qui abritent 36 % de la population mondiale.

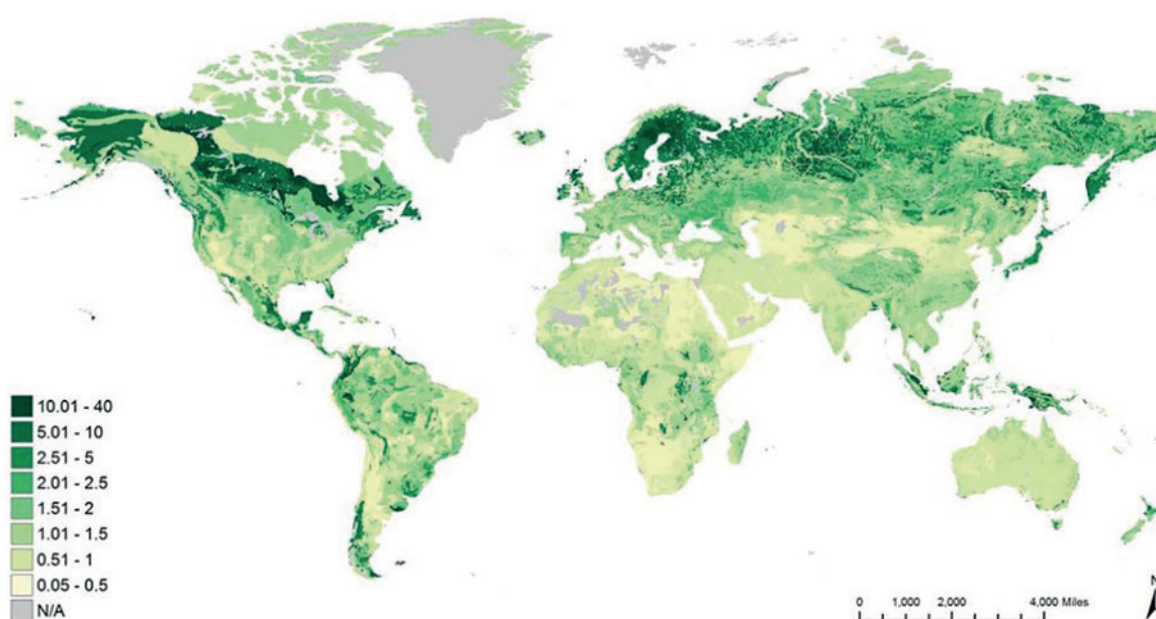
Selon la FAO (*Food and Agriculture Organisation*), un quart des terres sont aujourd'hui « très dégradées » sous l'effet de l'érosion hydrique et éolienne, d'un rechargement insuffisant des sols en matière organique et en éléments nutritifs, du surpâturage ou de la salinisation. Au niveau mondial, seule la moitié des éléments nutritifs (azote, phosphore, potassium) retirés des sols agricoles lors des récoltes est renouvelée (PLACE et al., 2013). Les ressources en eau et en sols étant dégradées, des services écosystémiques essentiels tels que la régulation des cours d'eau et des inondations, la formation des sols et le cycle des nutriments et de l'eau, sont négativement impactés, voire perdus (NOBLE, 2012). Comme la productivité des terres arables dégradées stagne, voire décline, la tentation de défricher et de convertir de nouvelles terres

(4) Non comprises les émissions résultant du changement d'usage des terres (lesquelles sont estimées à un total de 0,9 GtC/an).

(5) Rappelons qu'un kilogramme de CO₂ contient 0,27 kg de carbone. Le rapport est donc de 3,67.

(6) $0,4 \% = 3,5 (8,9-5,4) / 820$

(7) Seulement 0,05 % des 3 800 zettajoules de l'énergie solaire sont absorbés annuellement pour servir la productivité primaire brute, laquelle représente un flux de carbone de 120 Gt/an.



Source : Hengl et Reuter, 2009.

Photo 1 : Carbone organique dans la couche arable des sols : fraction massique en pourcentage.

en cultures ou en pâturages devient encore plus grande (REIJ *et al.*, WRI, 2015). La dégradation des sols à une telle échelle est donc à la fois une cause de pauvreté chronique, de faim et de conflits, ainsi qu'une cause majeure et double de déstockage de carbone par la dégradation des sols agricoles, d'une part, et par la déforestation résultant des mises en culture, d'autre part.

Cependant, une terre dégradée, si elle est bien gérée, peut être restaurée et séquestrer beaucoup de carbone. Le GIEC considère d'ailleurs que la restauration des terres dégradées est une priorité de tout premier rang pour la réussite de l'atténuation dans le secteur des terres.

La réunion scientifique internationale organisée par l'INRA, à Paris, le 7 juillet 2015, sur le « 4 pour 1 000 » a montré que les possibilités de réaliser des progrès dans le stockage de carbone dans la biosphère terrestre (sols et forêts) au niveau mondial sont importantes. Le professeur Rattan Lal chiffre en effet le potentiel technique de séquestration du carbone dans la biosphère terrestre (sols et biomasse) à 3,8 GtC/an⁽⁸⁾ en moyenne (de 2,6 à 5,0 GtC/an), soit l'équivalent de l'ensemble des émissions anthropiques nettes actuelles de CO₂ évaluées, en carbone, à 3,5 GtC/an en moyenne (8,9 GtC émises/an - 5,4 GtC séquestrées par an dans les puits océaniques et terrestres) !

De plus, « recarbone » la biosphère en améliorant la qualité des sols a bien d'autres mérites que la seule réduction des émissions nettes de GES, puisque cela contribue très positivement à la fertilité des sols, à la réussite de l'adaptation, à une bonne gestion de l'eau (tant en quantité qu'en qualité), à la sécurité alimentaire (quantité, accessibilité, stabilité et qualité), à l'emploi et à la préservation de la biodiversité. L'agriculture apparaît donc comme le véritable moteur du développement économique durable, le professeur Rattan Lal n'hésitant pas à annoncer un « futur brillant pour l'agriculture » (*the "bright future of agriculture"*).

Cependant, le stockage dans les sols a aussi ses limites et des déstockages sont toujours possibles. Le stockage est plus important au cours des premières années, bénéficiant de l'impact positif du changement dans la gestion agricole, pastorale ou forestière, puis il se réduit au fil du temps. La saturation du « puits » se produit en effet au bout d'une période allant d'une vingtaine d'années jusqu'à un siècle, une fois le sol arrivé à son nouvel équilibre (SMITH, 2004). Un nouveau changement de gestion peut conduire alors à un nouveau déstockage. Ainsi, tel champ enrichi en matière organique pendant un siècle a vu son stock de carbone à l'hectare passer de 28 à 75 tonnes. Mais avec l'arrêt de la fumure, le stock pourra très bien redescendre (par exemple) à 40 tonnes au bout d'un siècle (SMITH, 2005). C'est l'effet de « non permanence ». Si les progrès ou les reculs peuvent être importants, ils demeurent malheureusement non ou fort mal pris en compte par les systèmes actuellement utilisés pour procéder à l'inventaire des émissions. Il faut aussi veiller à l'effet de « fuite » : mettre plus de fumier ici peut signifier en avoir enlevé ailleurs : quel est, dès lors, le véritable « gain carbone » de l'opération ?

En conclusion, « recarbone » la biosphère, même si cela ne produira des effets que pendant un certain temps, a l'immense mérite de pouvoir représenter un « pont » essentiel dans la lutte contre le changement climatique. L'enrichissement en carbone de la biosphère, en amortissant la dérive climatique pendant quelques décennies, peut en effet donner à l'humanité le temps de réussir sa transition vers un futur énergétique « décarboné ». Et comme elle est aussi une condition de l'adaptation et de la sécurité alimentaire, cette « recarbonation » de la biosphère terrestre présente incontestablement un intérêt public mondial de premier rang. Encore faut-il bien comprendre que cet effet « pont » ne vaudra que pour un temps limité et que l'objectif, à terme, sera moins le « stockage » que la « substitution ».

De la bonne utilisation des terres, des forêts, de la bioéconomie, du stockage de carbone, de la substitution et du mix énergétique

La question de la relation sols-carbone pose aussi celle de l'utilisation des terres et celle des changements dans l'utilisation de celles-ci. En effet, la teneur en carbone des sols est en moyenne plus forte dans les zones humides, les prairies et les forêts que dans les terres de cultures, et plus forte dans les terres de cultures que dans les espaces artificialisés. En France, les valeurs médianes retenues par le CITEPA sont les suivantes : zones humides : 125 tC/ha, prairies permanentes : 78, forêts : 73, cultures : 49, sols artificialisés (sols nus, en herbe, arborés) : 40.

À l'échelle mondiale, la déforestation, principale conséquence du changement d'usage des terres au XX^e siècle, a été jusque dans les années 1950 la source principale des émissions de CO₂. Cependant, les émissions à l'époque se situent à des niveaux encore raisonnables (de l'ordre de 8 Gt CO₂/an), alors qu'aujourd'hui, elles ont été multipliées par presque 5 du fait d'une consommation effrénée de gaz, de pétrole, et surtout du très pollueur charbon (la consommation de cette dernière forme d'énergie fossile ne cessant d'ailleurs de croître). Grâce notamment aux progrès de l'agriculture et à un début de restauration des terres dégradées, notamment au Brésil et en Chine, la déforestation a au contraire tendance à diminuer depuis deux décennies. Cependant, la déforestation reste importante dans certains pays ou sur certains continents (Indonésie, Afrique), et de nouveaux reculs de la forêt sont observés, par exemple à Madagascar, au Cambodge ou au Paraguay.

La France, quant à elle, a connu une évolution différente, puisque sa surface forestière a presque doublé en l'espace d'un siècle. Le recours aux énergies fossiles, mais aussi l'intensification de l'agriculture, la diversification de l'économie et la politique forestière y ont contribué pour

(8) Ce total se répartit comme suit : séquestration en forêt (de 1,4 à 1,9 GtC/an), séquestration dans les sols agricoles (de 0,7 à 1,7 GtC/an, dont 0,4 dans les sols de prairies), séquestration dans les sols salinisés (de 0,3 à 0,7 GtC/an).

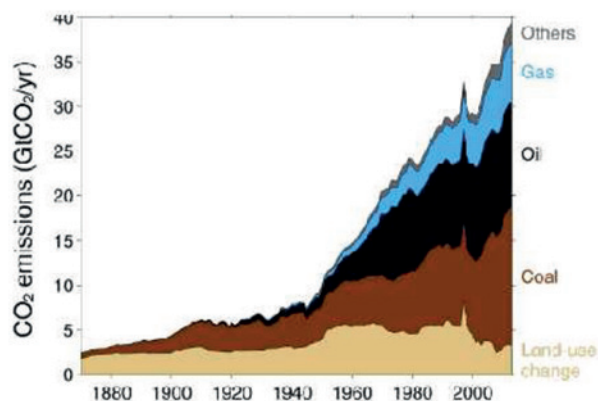


Figure 5 : Les émissions historiques de CO₂ : la déforestation a été la principale cause d'émissions jusqu'en 1950. L'utilisation du charbon continue à augmenter.

Source : CDIAC ; HOUGHTON et al., 2012 ; GIGLIO et al., 2013 ; LE QUÉRÉ et al., 2014, *Global carbon budget*, 2014.

beaucoup. Le grand changement survenu depuis 30 ans a trait non plus à la reforestation, mais à l'artificialisation des sols et au recul des terres cultivées. La perte sur cette période s'élève en effet à 2 millions d'hectares, soit exactement l'augmentation des surfaces artificialisées. Sur la période 2006-2012, elle était en moyenne de l'ordre de 70 000 ha/an (dont 35 000 ha de prairies). La perte en prairies permanentes est cependant plus élevée, car

on doit y ajouter les pertes par retournement (passage à des prairies temporaires ou à des cultures) et celles par déprise. Au total, elle serait de l'ordre de 92 000 ha par an sur la période 2006-2010. Cette double perte nette de terres cultivées et de prairies permanentes représenterait au total une émission (en termes de déstockage de carbone) de l'ordre de 28 Mt CO₂/an, soit près de 6 % des émissions nationales de GES.

Cependant, la forêt apporte une contribution beaucoup plus importante à la réduction des émissions grâce au double effet positif du stockage et de la substitution. L'exemple français montre bien l'importance de ces deux facteurs et de leurs évolutions relatives possibles dans le temps.

Le bois, c'est d'abord du carbone (4 m³ de bois représentent la capture d'environ 4m³ de CO₂, soit environ 1 tonne de carbone) et la forêt française fonctionne actuellement à l'instar d'un important « puits de carbone ». Assurant une croissance annuelle de 134 millions de m³ dont seulement une partie est exploitée, elle stocke en effet près de 69 Mt de CO₂ supplémentaires par an dans les arbres et environ 5 Mt de CO₂ dans les produits de la filière bois, soit un stockage annuel total de 74 Mt de CO₂. Elle le doit à l'accroissement récent, mais massif, des surfaces forestières au détriment d'anciens terrains de cultures, mais aussi à l'effort de reboisement en plantations résineuses conduit après la guerre grâce au fonds

Photo © Georges Lopez/BIOSPHOTO



Vue aérienne montrant le reboisement de la forêt landaise.

« La forêt française fonctionne actuellement à l'instar d'un important « puits de carbone ». Elle le doit à l'accroissement récent, mais massif, des surfaces forestières au détriment d'anciens terrains de cultures, mais aussi à l'effort de reboisement en plantations résineuses conduit après la guerre grâce au fonds forestier national. »

forestier national (FFN). La séquestration de carbone est en effet forte dans les forêts adultes en croissance, surtout dans les forêts de résineux - bien plus que dans les forêts jeunes ou vieillissantes. Le stockage n'a d'ailleurs rien d'éternel et les peuplements âgés ou très âgés peuvent émettre plus de CO₂ qu'ils n'en absorbent : de « puits », ils deviennent donc « sources ».

Mais la forêt ne fait pas que stocker : elle permet aussi grâce à l'effet de « substitution » d'éviter des émissions importantes de GES. Ce gain est évalué en France à 55 Mt CO₂/an : 25 Mt de CO₂ grâce au bois d'œuvre et 30 Mt de CO₂ grâce au bois énergie (CGAAER, 2015). Ces chiffres considérables sont sans doute minorés et ils seraient bien plus élevés si la forêt française était mieux gérée. En effet, sur les 134 millions de m³ de croissance annuelle, seulement 37 sont mobilisés et commercialisés et 18 sont autoconsommés. Le reste, en effet, n'est pas exploité (69 millions de m³) ou est perdu (pertes d'exploitation et mortalité) !

À ces chiffres de substitution par les produits de la filière bois doivent être ajoutés ceux permis par les produits des nouvelles filières agricoles non alimentaires (néo-matériaux, chimie, biocarburants...), lesquelles représenteraient déjà en France 14 milliards d'euros de chiffre d'affaires et 70 000 emplois, avec un grand potentiel d'innovation. Leur effet de substitution est évalué à 6 Mt CO₂/an pour les biocarburants et à 4 Mt CO₂/an pour la chimie du végétal, polymères et composites.

La forêt française, la filière bois et les autres filières non alimentaires de la bio-économie par le double effet d'un stockage à hauteur de 74 Mt CO₂ (émissions compensées) et de substitution à hauteur de 65 Mt CO₂ (émissions évitées) jouent donc bien un rôle décisif d'amortisseur climatique. Ces chiffres sont en effet importants au regard du total des GES émis en France en 2012 (446 Mt CO₂eq/an).

Mais comment pourront-ils évoluer avec le temps ? Plusieurs scénarios sont possibles.

Un scénario auquel pourraient inviter les systèmes actuels d'inventaire et de rapportage consisterait à ne plus rien prélever dans les forêts pour y accroître le stockage de carbone. En effet, ces systèmes ne chiffrent pas de façon spécifique les effets de substitution et ne les rapportent pas au secteur des terres. En outre, le stockage de carbone en aval, dans la filière bois, n'est pris en compte que depuis cette année. Ce scénario serait pourtant absurde car, outre l'impact négatif sur l'emploi, il réduirait à zéro le double bénéfice du stockage en aval et de la substitution, ainsi qu'à terme le stockage en forêt lui-même. Le raisonnement est pourtant souvent repris, sans doute par ignorance.

Dans son rapport 2015 sur le climat, le Conseil général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces ruraux (CGAAER) a proposé un autre scénario faisant l'hypothèse du maintien de la surface forestière actuelle, d'une certaine reprise de l'effort de reboisement (50 000 ha/an) et d'une meilleure mobilisation du gisement. Avec ce scénario, le stockage en forêt à l'horizon 2030 baisserait de 5 Mt CO₂eq/an. Cependant, la production accrue de bois d'œuvre et de bois énergie permise par ce scénario permettrait, d'une part, d'accroître de 10 Mt CO₂eq/an le stockage en aval dans la filière bois et, d'autre part, de réduire les émissions de GES des autres secteurs (énergie, bâtiment...) de 26 Mt CO₂eq/an, par effet de substitution. Ces chiffres confirment donc toute l'importance que revêt une gestion dynamique de la forêt. Le scénario voit aussi une amélioration du stockage de carbone dans les sols agricoles et un gain de substitution additionnel de 4 Mt CO₂eq/an permis par les nouvelles biofiliales (chimie du végétal).

Cet exemple chiffré illustre bien le défi posé au monde, qui doit : a) intensifier durablement l'agriculture et la forêt en « recarbonant » la biosphère (stockage dans les sols et

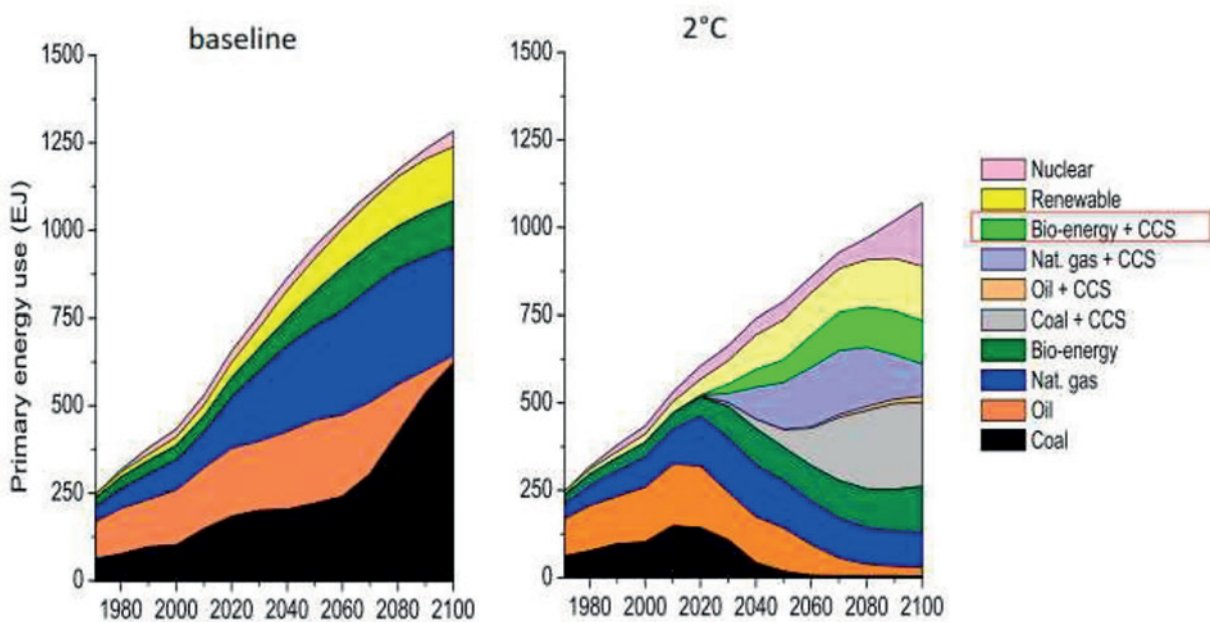


Figure 6 : Deux scénarios énergétiques mondiaux : « au fil de l'eau » (baseline) et « soutenable » (<2°C).

CCS = Capture et séquestration du carbone

Source : Global carbon project, présentation Ph. Ciais, LSCE, Paris 2015.

les forêts) ; b) gérer de façon durable et dynamique les forêts au bénéfice d'abord des territoires et des populations concernées ; c) accroître le stockage en aval dans la filière bois, ce qui suppose de hiérarchiser les usages du bois et de valoriser le bois d'œuvre et son utilisation dans la construction et, enfin, d) produire beaucoup pour, dans le même temps, nourrir le monde et amplifier l'effet de substitution, le seul qui, à terme (d'ici à 20 à 100 ans), sera décisif lorsque la biosphère aura été enrichie en carbone et que l'effet « stockage » se sera donc considérablement réduit.

Mais quelle peut être la contribution mondiale des bioénergies (bois, bio-carburants, bio-gaz...) au futur mix énergétique planétaire ? La figure 6 de la page précédente donne une illustration comparée d'un scénario au fil de l'eau et d'un scénario de stabilisation du réchauffement à + 2° C en 2100. Elle montre combien un scénario non soutenable dominé par l'utilisation du charbon est un scénario où la part des bioénergies demeure limitée, alors que le scénario soutenable voit au contraire une forte croissance relative des bioénergies. Selon ce scénario, leur part dans le total d'énergie produite serait d'ailleurs environ le double de celle des autres énergies renouvelables (solaire, éolien, hydroélectricité).

Ce scénario se caractérise aussi par une forte émergence d'énergies avec séquestration du carbone. Or, si la séquestration dans les sols, phénomène naturel, qu'il suffit de savoir activer, peut s'opérer à un coût limité, la capture et la séquestration (CSC) industrielles du carbone dans les centrales à charbon et à gaz, autre composante majeure du scénario à + 2°C, est au contraire non mûre et risque de s'avérer extrêmement difficile et coûteuse à mettre en œuvre. Voilà donc une autre raison de croire en ce « futur brillant de l'agriculture ».

Cependant, l'« agriculture carbone » (le « *carbon farming* ») pourra-t-elle se développer sans mettre en péril la sécurité alimentaire ? La question est cruciale, car l'on sait bien que le *carbon farming* peut conduire à « une mainmise foncière qui réduit l'accès à la terre des petites exploitations » et que « le stockage de carbone dans les sols nécessite des investissements, y compris en intrants chimiques, azote, potassium et phosphore : comment y réussir avec des petites exploitations d'abord confrontées à des problèmes de sécurité alimentaire à court terme ? » (BOSSIO, CGIAR).

La question posée est donc, au fond, celle du *développement agricole*, c'est-à-dire celle du comment réussir un *développement inclusif* permettant d'améliorer les conditions de vie d'une population agricole mondiale de 2,6 milliards de personnes et d'assurer en même temps, pour tous, urbains comme ruraux, une double sécurité à la fois alimentaire et climatique. Et cette question, elle se pose d'abord à l'Afrique : c'est sur ce continent que se joue en effet pour une bonne part notre avenir à tous.

L'Afrique subsaharienne : nouveau agricole et écologique ou impasse alimentaire et climatique ⁽⁹⁾ ?

En Afrique subsaharienne, le nouveau agricole et écologique et l'augmentation des rendements sont des néces-

sités vitales, car les besoins et les risques sont immenses, et les performances agricoles faibles.

Les indicateurs sont en effet au rouge : faible productivité, dégradation des écosystèmes (déforestation, désertification...), malnutrition : 80 % de ceux qui souffrent de la faim sont de petits exploitants agricoles, 40 % des enfants africains de moins de 5 ans souffrent de rachitisme à cause de la malnutrition, 75 % des terres arables sont des sols dégradés (voire très dégradés) et si épuisés en nutriments que des investissements majeurs sont nécessaires pour restaurer leur fertilité, 6 millions d'hectares de terres productives sont perdus chaque année et les rendements céréaliers ne sont que de 15 qtx/ha, soit la moitié de la moyenne mondiale (*Panel de Montpellier*, 2013).

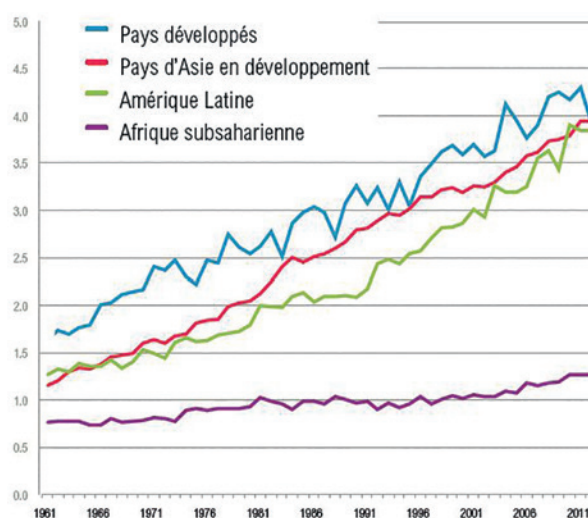


Figure 7 : Rendements en céréales de 1961 à 2011. Source : Henao et Baanante, 2006.

Contrairement à ce qui s'est passé en Asie et en Europe, la croissance de la production agricole africaine s'opère donc par toujours plus d'expansion des terres cultivées. « Il s'agit d'un processus d'extensification et non d'intensification, lequel contribue encore et toujours plus à la dégradation des terres » (WINTERBOTTOM et al., WRI, 2014). La déforestation, par suite très élevée, est la première source d'émissions de GES du continent.

Les deux plus importants obstacles physiques à la production agricole en Afrique sont le faible équilibre nutritif des sols et le stress hydrique. En effet, seuls 10 % des sols sont géologiquement jeunes et riches en nutriments et les niveaux d'érosion des sols et de lessivage de l'azote et du potassium sont tels que, sur la période 2002-2004, 85 % des terres africaines ont accusé une perte annuelle nette de 30 kg de nutriments par hectare (HENAO et al., 2006). Par ailleurs, l'agriculture pluviale assure 95 % du secteur de la production alimentaire, mais les sols ont une faible capacité à retenir l'eau et seul un faible pourcentage

(9) Les analyses et les chiffres cités dans ce chapitre sur l'Afrique sont tirés principalement du document de travail « Création d'un avenir alimentaire durable - Épisode 4 : amélioration de la gestion des terres et de l'eau » (WRI, novembre 2014).

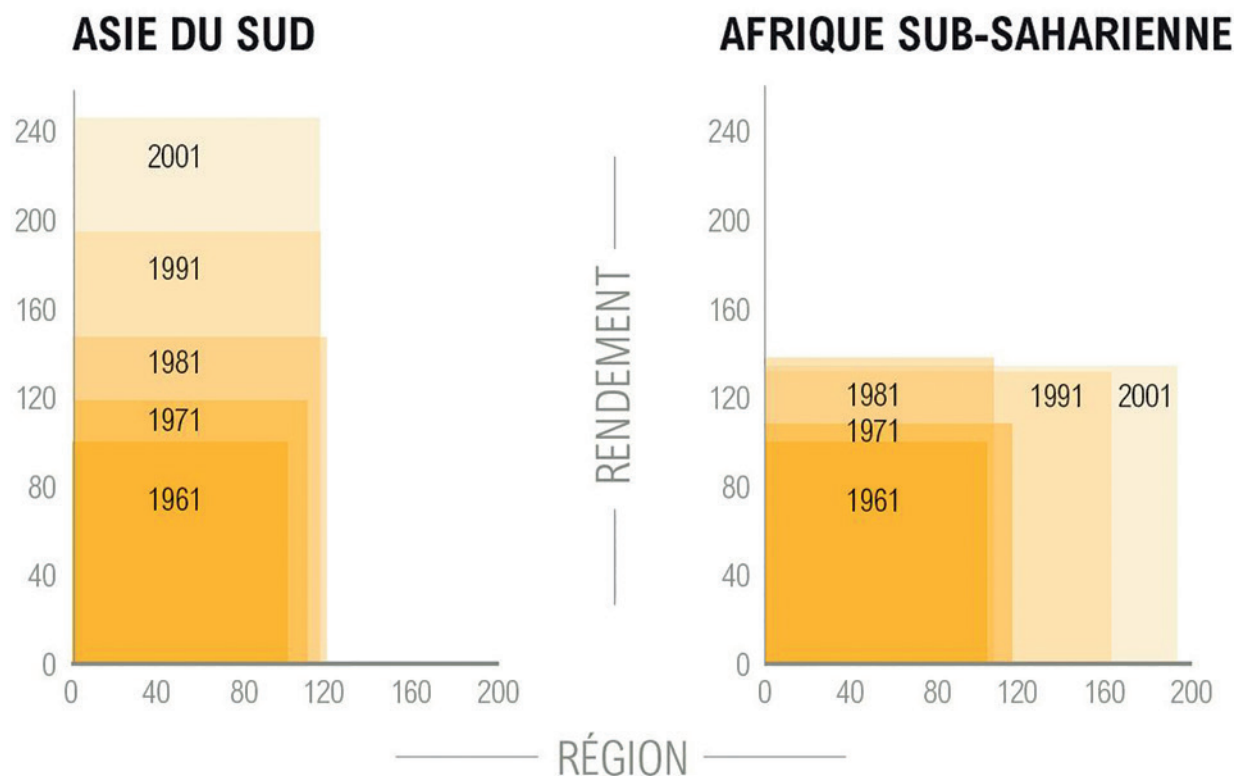


Figure 8 : Croissance de la production agricole de 1961 (valeur 100 : rendements en ordonnée, surfaces en abscisse) à 2001. Source : WRI, 2014, données de la FAO, graphique IFDC.

des pluies, au demeurant très intenses mais brèves, est utilisé par les cultures. Ainsi, par exemple, au Mali, de 70 à 80 % des précipitations sont perdues en début de saison des pluies à cause du ruissellement, celui-ci faisant perdre environ 40 % des nutriments apportés par les engrais minéraux ou organiques (ROCKSTROM et al., 2003).

L'Afrique subsaharienne utilise en outre bien moins de fertilisants par hectare (9 kg) que toutes les autres régions du monde (Asie = 212, Europe occidentale = 135, Amérique du Nord = 111). Enfin, les pertes de récoltes, faute de disposer d'équipements de stockage et de transformation, sont très élevées.

Comme la population ne cesse de s'accroître à un rythme effréné, la mauvaise performance de l'agriculture africaine impose un recours toujours plus grand aux importations : 14 % des produits animaux, 25 % des céréales et 66 % des huiles végétales consommés en Afrique y sont aujourd'hui importés. Qu'en sera-t-il, demain, avec une population qui va rapidement doubler et un changement climatique qui risque de terriblement affecter l'agriculture africaine, ses rendements et la sécurité alimentaire (GIEC, 2014) ?

Si le pire est possible, il n'est heureusement pas certain, car des exemples récents remarquables montrent qu'un autre scénario est possible. Cet autre scénario favorable passe d'abord par l'intensification agro-écologique, la restauration des terres dégradées, le reverdissement de la biosphère, ainsi que par une meilleure mobilisation, gestion et valorisation de l'eau, des engrais et des ressources génétiques (semences).

Pour le *World Resources Institute* (WRI), les 4 pratiques de gestion de l'eau et de la terre les plus prometteuses sont l'agroforesterie, l'agriculture de conservation, la collecte des eaux de pluie et la gestion intégrée de la fertilité des sols.

L'*agroforesterie* est devenue ces dernières décennies un facteur de progrès majeur dans plusieurs pays. Ainsi, au sud du Niger, dans les zones à forte densité de population, plus d'un million de paysans ont depuis 1985 protégé les arbres et assuré la régénération naturelle sur 5 millions ha de champs agricoles, ce qui a permis une production accrue de 500 000 tonnes de grain/an - soit de quoi nourrir 2,5 millions d'habitants supplémentaires (REIJ et al., 2009). Dans la plaine du Séno, au Mali, 450 000 ha de nouveaux parcs agroforestiers ont été recensés par l'USGS (*US Geographical Survey*) : 500 000 paysans développent des cultures intermédiaires d'espèces qui fixent l'azote, dont l'arbre indigène *Faidherbia albida*. Ces arbres fertilisent le sol environnant en fixant l'azote, ce qui permet une forte hausse des rendements, et donc du stockage de carbone. La hausse des rendements a été chiffrée entre 88 à 190 % pour le maïs cultivé en Zambie sous le houppier, et un doublement du rendement est observé au Malawi. Les *Leucaena leucocephala* (une légumineuse mimosacée) fournissent en outre de 20 à 60 m³ de bois/ha/an et leurs haies de 2 à 6 tonnes de fourrage riche en protéines.

Les pratiques d'*agriculture* de conservation apparues dans les années 1930 aux États-Unis en réponse aux sé-

Photo © Stephen Robinson/PHOTOSHOT-BIOSPHOTO

Pépinière de *Faidherbia albida*, Chisamba (Zambie), décembre 2008.

« Dans la plaine du Séno, au Mali, 500 000 paysans développent des cultures intermédiaires d'espèces qui fixent l'azote, dont l'arbre indigène *Faidherbia albida*. Ces arbres fertilisent le sol environnant en fixant l'azote, ce qui permet une forte hausse des rendements, et donc du stockage de carbone. »

Photo © C. Reij (WRI):

Agroforesterie à haute densité d'arbres *Faidherbia albida* dans le Sud Niger.

cheresses, tempêtes de poussière et mauvaises récoltes peuvent diminuer l'érosion des sols jusqu'à 98 %. Elles associent perturbation minimale des sols (zéro labour...), rétention des résidus de cultures ou entretien d'une culture de couverture et rotation des cultures/diversification des espèces cultivées. Au niveau mondial, plus de 105 millions d'hectares sont concernés, dont 25 au Brésil. Grâce à elles, les rendements sont accrus de 20 à 120 % et l'utilisation de l'eau est réduite de 20 à 50 %. En Afrique, ce type d'agriculture est cependant encore peu développé,

faute de soutien des gouvernements, de matériel adapté, du manque de marché et de prix rémunérateurs pour les légumineuses ou encore du fait de la concurrence dans l'utilisation des résidus de cultures. En effet, le bétail broute librement après la récolte (droit de vaine pâture) ou les agriculteurs ont tendance à ôter les résidus pour les donner à leurs animaux. Cependant, en Zambie, au Zimbabwe et au Sénégal (ainsi qu'au Maroc et en Irak), des développements récents témoignent d'un fort gain possible des rendements et de stockage de carbone, surtout en cas de couplage avec l'agroforesterie. Au Zimbabwe, avec le passage au semis direct, il a été calculé que le stock de carbone dans les sols a augmenté de 104 % en seulement quatre ans (2004 à 2008) et que l'infiltration de l'eau s'est accrue de 65 % (THIERFELDER, 2012).

La *collecte des eaux de pluie* est une troisième technique qui a largement fait ses preuves. Le creusement de cuvettes de plantation (zaï), l'aménagement de demi-lunes (barrières en forme de croissants creusées dans la terre) et de cordons pierreux, ainsi que la préparation du sol en billons ralentissent le ruissellement. La technique du zaï améliorée avec apport de matière organique a été inventée au début des années 1980 par un agriculteur burkinabé, M. Yacouba Sawadagoo. Elle a permis de restaurer la productivité de dizaines de milliers d'hectares de terres dégradées au Burkina-Faso et au Niger. Dans ces deux pays, plus de 500 000 ha au total ont été restaurés par

diverses techniques de gestion durable des terres, assurant une forte augmentation des rendements (des photos aériennes confirment le reverdissement du Sahel dans ces deux pays).



Photo © C. Reij (WRI).

La technique du zaï améliorée, avec apport de matière organique.



Photo © C. Reij (WRI).



Photo © C. Reij (WRI).

Restauration d'un champ en l'espace d'une vingtaine d'années.

Le *micro-dosage*, c'est-à-dire l'application ciblée de faibles doses d'engrais sur les semences ou les jeunes plants, s'avère très utile. Au Mali, au Burkina-Faso et au Niger, 473 000 paysans ont appris cette technique et ont vu leurs rendements de sorgho et de millet augmenter de 44 à 120 % (et leurs revenus familiaux accrus de 50 à 130 %) (AUNE et BATIANO, 2008 ; VANLAUWE et al., 2010). La « gestion intégrée de la fertilité des sols », qui vise à optimiser l'usage du stock de nutriments du sol,

des ressources disponibles localement et des engrais, permet aujourd'hui en moyenne un doublement des rendements en Afrique centrale.

L'objectif final devrait être une action combinée de plusieurs techniques développées au niveau des « terroirs » et aux échelles plus larges des territoires/paysages/bassins versants. Le plus bel exemple de réussite africaine nous est sans doute donné par la région du Tigré, en Éthiopie, située au nord du pays, à la frontière avec l'Érythrée. Région la plus sèche du pays, le Tigré a connu de terribles famines dans les années 1980. Or, grâce à un aménagement des terroirs à grande échelle, décidé et mis en œuvre par les communautés, cette région est maintenant devenue « la plus sûre en eau du pays » ! La qualité du *leadership* local, l'engagement des communautés et le soutien du gouvernement ont permis de combiner : la protection et le reboisement de centaines de milliers d'arbres, la construction à grande échelle de terrasses de cultures et de demi-lunes, l'aménagement de centaines de petits barrages, l'arrêt de la divagation du bétail et, enfin, le développement de l'irrigation. Celle-ci a beaucoup bénéficié des aménagements d'amont, qui ont permis l'infiltration de l'eau : la recharge des nappes est devenue telle que les centaines de puits construits en aval pour l'irrigation sont devenus des puits artésiens et que plus de 40 000 ha de terres sont aujourd'hui irriguées (contre 40, il y a de cela 20 ans). La sécurité alimentaire a été ainsi



Photo © C. Reij (WRI).



Photo © C. Reij (WRI).

Photo en haut : La région du Tigré en Éthiopie est maintenant plus verte qu'elle ne l'a jamais été depuis au moins 145 années. Photo du bas : M. Aba Awi dans son champ irrigué, un des leaders du renouveau agricole et écologique.

restaurée, avec des co-bénéfices majeurs pour le climat, puisque le déstockage de carbone causé par la déforestation et l'érosion a laissé place au stockage permis par la restauration des terres et par le retour de la forêt.

Pour répondre aux besoins fortement croissants des populations (alimentation, emplois) et faire face à la très grave montée des risques d'instabilité annoncés par le GIEC, une meilleure gestion de l'eau et des sols apparaît ainsi être une première priorité. Pour l'Afrique subsaharienne, où l'eau n'est pas rare (même si elle est inégalement répartie), il sera prioritaire de favoriser la rétention et l'infiltration de l'eau, mais aussi de mieux la mobiliser - ce qui nécessitera des investissements importants tant en matière de stockage qu'en matière d'irrigation. Le faible taux d'irrigation (5 %) constitue en effet un facteur de forte vulnérabilité aux chocs climatiques à venir ; la rareté de l'eau est ici bien plus « économique » que « physique » et l'irrigation est un moteur du développement et un garant de la stabilité : elle crée richesse et emplois, évite l'exode des jeunes et prévient l'émigration et l'instabilité. La question posée est cependant celle du « qui investit, et comment ? ». Beaucoup d'États africains ont des ressources financières limitées et rares sont ceux qui consacrent au moins 10 % de leurs ressources publiques à l'agriculture, comme ils s'y étaient pourtant engagés collectivement, à Maputo. Il s'agit aussi, une fois l'investissement réalisé, d'en assurer une bonne gestion et une bonne valorisation agricole, ce qui est encore loin d'être toujours le cas.

Réconcilier la sécurité alimentaire et la lutte contre le changement climatique : les conditions d'un progrès à grande échelle

Comment réussir à grande échelle un triple gain (sécurité alimentaire-adaptation-atténuation) afin de sécuriser le climat, l'accès de tous à l'alimentation et la stabilité ? Six grandes conditions sont proposées.

Mettre la sécurité alimentaire au centre de la négociation climatique et chiffrer les progrès possibles du secteur des terres

Des progrès d'atténuation par le secteur des terres sont possibles et nécessaires partout, et pas seulement en Afrique. Mais une priorité serait déjà de les chiffrer. Cela suppose une prise en compte des enjeux de sécurité alimentaire et d'apprendre à penser ensemble « agriculture, forêt, eau et sols », « Nord et Sud, pays pauvres et riches en eau », « sécurité alimentaire, adaptation et atténuation ». Il ne s'agit pas en effet de réduire la production en un lieu (par exemple, en Europe) si l'effet indirect est de l'accroître ailleurs, sur d'autres continents, avec pour conséquence presque certaine une forte croissance des émissions de GES sous l'effet de la déforestation. De même, l'Afrique peut avoir intérêt à accroître sa consommation d'engrais et les émissions afférentes, si cela lui permet d'assurer sa sécurité alimentaire tout en réduisant sa déforestation et en stockant du carbone. Un bon exemple de la nécessité d'une réflexion et d'une stratégie « systémique » du secteur des terres nous est donné par le Brésil. Dans ce pays,

les émissions du secteur agricole, qui ont augmenté de 7 % entre 2005 et 2012, représentent maintenant 37 % des émissions nationales (445 Mt CO₂ eq/an). Cependant, la déforestation, sur la même période, a baissé de 85 %, soit une réduction des émissions correspondant à 1 003 Mt CO₂/an ! Or, ce progrès extraordinaire est largement dû à la réussite de l'intensification de l'agriculture, notamment à la réussite des premiers programmes de restauration des terres dégradées. Les gains de production ainsi obtenus ont en effet permis de réduire d'autant les pressions agricoles sur les forêts. Le Brésil mise aussi beaucoup sur l'effet de substitution, puisque la biomasse, sous la forme de « biofuel » certifié durable, devrait représenter 18 % du mix énergétique en 2030 contre 5,6% en 2012, alors que la production d'hydro-électricité a, quant à elle, déjà commencé à baisser du fait des impacts négatifs du changement climatique sur le cycle de l'eau. À ce même horizon 2030, le Brésil s'est donné pour objectif d'aboutir au « zéro déforestation » et d'avoir restauré 15 millions d'hectares de terres dégradées supplémentaires. Au total, les émissions de GES du Brésil devraient se limiter à 1 200 Mt CO₂ eq/an en 2040, soit une baisse de 43 % par rapport à 2005 (source : INDC du Brésil formulé le 27 septembre 2015 en vue de la COP21).

Un système de mesure et de rapportage spécifique au secteur des terres est donc nécessaire pour mesurer les progrès accomplis en intégrant dans le calcul les effets « stockage » et « substitution », ainsi que les réductions d'émissions directes et indirectes possibles, y compris par la réduction des pertes aux champs ou des gaspillages alimentaires ou encore en terres agricoles (du fait de l'étalement urbain). Ces systèmes devront prendre en compte l'effet possible des changements de pratiques agricoles, comme la bonne gestion de l'azote et l'agroforesterie.

Chaque pays, chaque territoire, devrait s'attacher à chiffrer les progrès possibles tout en prenant en compte les enjeux de sécurité alimentaire. Le CGAAER, à la demande de son président, le ministre français de l'Agriculture, Monsieur Stéphane Le Foll, l'a fait dans le cas de la France ⁽¹⁰⁾. Le scénario proposé montre que plus du tiers (voire même la moitié) de l'objectif national d'atténuation des émissions de GES à l'horizon 2030 (-40 % par rapport à 1990) pourra être atteint grâce au secteur des terres, et ce, sans réduction de la production agricole (voir l'Encadré 1 de la page suivante). La COP21 devrait inviter à des exercices comparables dans tous les pays en soulignant le besoin global d'accroître la production par une intensification durable de l'agriculture et de la forêt, au bénéfice non seulement des populations directement concernées (la population agricole mondiale est de 2,6 milliards de personnes), mais aussi des deux biens publics mondiaux que sont le climat et la sécurité alimentaire.

(10) « Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique », Rapport du CGAAER, février 2015.

Encadré 1 : Le secteur des terres en France, élément majeur de la lutte contre le changement climatique

En France, en 2012 :

- les émissions de l'agriculture et de l'élevage sont évaluées à un total de 101 Mt CO₂eq/an (52 de N₂O, 38 de CH₄ et 11 de CO₂), un chiffre auquel il faut ajouter le déstockage de carbone résultant du changement d'utilisation des terres (consommation des terres agricoles et recul des prairies permanentes), soit 28 Mt CO₂eq/an,
- le stockage net de carbone dans la biomasse forestière et dans la filière bois est estimé à 74 Mt CO₂/an,
- l'effet de substitution aux produits conventionnels (ciment, pétrole, gaz...) permis par le bois d'œuvre, par le bois énergie et par les nouvelles biofilières agricoles (chimie du végétal, biocarburants) est évalué à 65 Mt CO₂eq/an.

Le bilan global du secteur des terres serait donc positif pour le climat : il se situerait à hauteur de 10 Mt CO₂eq/an.

À l'horizon 2030, le scénario proposé par le CGAAER montre un gain net supplémentaire en carbone de 56 à 70 Mt CO₂ eq/an, soit de plus du tiers de l'objectif d'atténuation fixé pour notre pays, et ce, grâce à la transition agro-écologique, à une gestion plus dynamique et innovante de la forêt et des biofilières et à une réduction des pertes et des gaspillages (alimentation, terres agricoles, prairies). Un gain qui se décompose comme suit :

- réduction des émissions : de 24 à 31 Mt CO₂ eq/an, dont agriculture et élevage (de 8 à 11), réduction des pertes et gaspillages de terres agricoles et prairies (de 8 à 10), réduction des gaspillages alimentaires (de 8 à 10) ;
- augmentation du stockage de carbone : de 7 à 9 Mt CO₂ eq/an, dont sols agricoles (4), forêts et filière bois (de 3 à 5) ;
- augmentation de l'effet de substitution : de 25 à 30 Mt CO₂ eq/an, dont filière bois (22 à 26) et chimie du végétal (3 à 4).

Grâce au double effet « stockage » et (surtout) « substitution », le bilan global du secteur des terres en France deviendrait donc très positif pour le climat.

Les principales mesures à développer en agriculture sont : la gestion de l'azote (optimisation des apports, substitution d'azote organique à l'azote minéral, recours accru aux légumineuses, à des inhibiteurs de nitrification), la séquestration du carbone dans les sols (techniques sans labour, agroforesterie et haies, cultures intermédiaires, optimisation de la gestion des prairies), la génétique et les pratiques d'alimentation du bétail, la gestion des effluents des élevages et l'autonomie énergétique (méthanisation agro-territoriale, amélioration des bâtiments, agro-pellets...).

Reconsidérer les ressources rurales, réviser nos visions économiques et environnementales et mettre en place des politiques de développement « pro- agriculture familiale »

S'engager pour le climat et la sécurité alimentaire, c'est prendre conscience de la nouvelle importance stratégique des ressources rurales, et donc sortir d'un système où ces ressources sont trop souvent dépréciées, gaspillées et sous-valorisées - pour mettre en place un *policy mix* à même d'assurer un développement équilibré des territoires et une bonne gestion et valorisation de la biosphère dans le respect de la diversité des écosystèmes et des territoires.

La ressource rurale la plus importante, c'est la ressource humaine : il n'y aura pas de solution au problème mondial si l'on n'est pas capable de redonner des perspectives aux jeunes ruraux, de réussir une mise en mouvement générale de l'agriculture familiale, notamment en Afrique (y compris en Afrique du Nord), et de créer de la valeur ajoutée.

La « petite agriculture », qui assure 70 % de la production alimentaire mondiale, doit pouvoir se professionnaliser et se structurer, mieux gérer et valoriser les ressources naturelles, investir et accéder aux marchés, réussir un développement croisé « filières et territoires », devenir un acteur clef de la transformation agro-alimentaire. Cela suppose des droits et des capacités, notamment de pouvoir se regrouper, accéder à la responsabilité collective, transformer

les produits et les commercialiser y compris sur les marchés internationaux, de pouvoir passer avec les autres acteurs des filières des accords équitables et construire des interprofessions favorables à la petite agriculture. Cela nécessite aussi de pouvoir accéder à un crédit qui soit adapté à l'activité agricole (ce qui n'est pas le cas en général du micro-crédit, car celui-ci ne prend pas en compte les spécificités de l'agriculture, notamment la nécessité d'une durée pluriannuelle) ainsi qu'à d'autres financements. Cela suppose aussi une sécurité d'usage de l'eau et du foncier, des formations et l'émergence de leaders ruraux capables d'entraîner leurs communautés sur la voie d'une meilleure valorisation des ressources locales et des opportunités de marché. C'est donc une question de « capital social » et de « *leadership* », d'émergence de véritables coopératives et d'unions de coopératives ou de groupements d'intérêt économique, avec, le cas échéant, des systèmes d'agrégation de type gagnant/gagnant avec d'autres acteurs (investisseurs, industriels...). Une « mise en mouvement » à grande échelle demande aussi des systèmes de vulgarisation agricole sur le terrain qui soient capables de mobiliser des *back offices* compétents (recherche et développement) et d'aider les fermiers et les groupes à définir leurs projets et à accéder à des informations, à des technologies et à des financements adaptés.

C'est donc toute la question du renouveau des politiques agricoles et rurales qui est posée, y compris celle des politiques de crédit à l'agriculture. Certains pays en transition

et en développement s'y sont engagés. On peut citer notamment le Vietnam, qui a su mobiliser ses 10 millions de foyers agricoles pour doubler sa production en vingt ans, ou encore l'Éthiopie ou le Maroc.

Mais la question va bien au-delà des seules politiques agricoles et rurales, car elle interpelle aussi nos modes de développement urbain et nos politiques économiques, environnementales ou de commerce international. Reconsidérer nos ressources rurales et relever le défi climatique et alimentaire, c'est, en effet, à la fois investir dans les campagnes et pouvoir garantir des prix agricoles rémunérateurs, c'est arrêter de considérer les produits agricoles comme des produits parmi d'autres dans les négociations commerciales, c'est aussi contrer l'étalement urbain et opter pour une densification urbaine et la structuration de bourgs ruraux, c'est encore considérer l'eau et la forêt d'abord comme des ressources qui doivent être gérées de façon durable et productive, et plus seulement comme des « milieux » à protéger. Bref, c'est reprendre conscience de notre dépendance vis-à-vis des campagnes nourricières et arrêter de faire de l'agriculture une simple « variable d'ajustement » de nos modes de développement ou de visions et règles environnementales inadaptées au monde rural.

Faire les choix de l'agro-écologie, de l'agriculture écologiquement intensive, de l'accès à l'eau et de l'innovation

Il ne s'agit plus seulement de développer l'agriculture : on se doit aussi de promouvoir des systèmes agricoles durables et producteurs de services environnementaux. La nécessité d'une mutation des modèles agricoles dominants a été soulignée depuis déjà une vingtaine d'années. Le CIRAD et l'agronome Michel Griffon, père du concept d'« agriculture écologiquement intensive », y ont notamment contribué. Cette mutation est nécessaire pour bien des raisons, sur tous les continents. Un nombre croissant d'acteurs, y compris de responsables agricoles européens, en ont pris conscience.

La France est aujourd'hui engagée dans cette voie. Dans toutes les régions, des groupes d'agriculteurs pionniers innovent pour promouvoir une agriculture qui reste productive tout en étant moins dépendante de la chimie et des énergies fossiles, et donc capable de mieux tirer parti de la nature, c'est-à-dire des services écosystémiques que celle-ci peut rendre. Il s'agit notamment de prendre mieux soin des sols et de l'eau et de mieux valoriser l'énergie solaire par la photosynthèse. Les agriculteurs pionniers évitent de mettre les sols à nu, sèment des plantes de couverture, pratiquent des inter-cultures systématiques avec des légumineuses : tout cela permet de capturer de l'azote et du carbone dans l'atmosphère, d'enrichir les sols et d'utiliser moins d'intrants. En élevage, des systèmes de « pâturages tournants dynamiques » permettent, comme en Nouvelle-Zélande, de mieux tirer parti des ressources fourragères et d'accroître l'autonomie des exploitations, et donc de réduire les charges et la consommation d'énergie tout en accroissant la production d'herbe et le stockage de carbone. Des agricultures de « précision » en cultures irriguées et pluviales, des

systèmes agroforestiers, de nouvelles complémentarités agriculture-élevage voient le jour. Au-delà des groupes pionniers, ce sont maintenant de grandes coopératives, la recherche et l'État lui-même qui sont pleinement engagés. Le « projet agro-écologique pour la France », lancé en octobre 2012, mobilise l'appareil de formation et de recherche. « Produire autrement », c'est en effet aussi « apprendre à produire autrement », « rechercher autrement » et « développer autrement ». L'objectif fixé par la Nation à travers la « loi d'avenir » est devenu celui d'une agriculture à triple performance (économique, environnementale et sociale), laquelle devra pouvoir apporter sa contribution à l'objectif d'atténuation.

C'est en développant ce type de vision au niveau national et à celui des grandes régions, en faisant évoluer la recherche, la formation, les politiques de soutien et les pratiques et en créant les infrastructures nécessaires, notamment d'hydraulique agricole, que l'agriculture pourra s'engager efficacement pour le climat. Il nous faut donc souhaiter que bien d'autres pays fassent de l'agro-écologie et, plus généralement, de l'innovation et de la recherche agronomique/développement sur le terrain, ainsi que de l'amélioration de l'accès à l'eau pour l'irrigation là où c'est nécessaire et possible ; plus qu'un simple objectif, c'est un véritable « choix stratégique ».

Tirer les enseignements des expériences réussies de reverdissement-restauration des terres dégradées : mettre en place des programmes à grande échelle

Le *World Resources Institute* (WRI) a publié en 2015 un ouvrage précieux intitulé "Scaling up greening : six steps to success" (« Réussir la montée en puissance dans le verdissement : six étapes vers le succès »). Celui-ci, en s'appuyant sur les exemples réussis de reverdissement/restauration des terres dégradées, s'est attaché à faire ressortir les six grandes étapes/conditions d'un succès à plus grande échelle (voir l'Encadré 2 de la page suivante).

Ce rapport met notamment l'accent sur les nécessaires reconnaissance et sécurisation des droits d'usage sur le foncier et sur les arbres, et donc aussi sur l'évolution de la législation et du rôle de l'État. Les agriculteurs, pour investir dans la restauration du couvert boisé, doivent en effet disposer de droit sur celui-ci, pour au moins, de fait, pouvoir utiliser ces arbres à leur profit. Les fermiers doivent donc se sentir propriétaires des arbres. La réussite du reverdissement du Sahel, au Niger, a ainsi été pour une bonne part permise par l'introduction de la démocratie et par les réformes politiques lancées dans les années 1990 pour appuyer une gestion décentralisée des ressources naturelles : les paysans ont protégé les arbres de leurs terroirs respectifs et assuré leur régénération naturelle, car ils considéraient avoir les droits de les gérer et d'en tirer des bénéfices, même si le code forestier continuait à affirmer que les arbres appartenaient à l'État.

Le passage à un scénario vertueux suppose parallèlement une évolution du métier des agents forestiers : ceux-ci doivent passer d'un rôle de police/sanction à un rôle de vulgarisation, d'appui technique. L'organisation de visites

Encadré 2 : Les 6 étapes pour une réussite du reverdissement à grande échelle selon le WRI (*World Resources Institute*)

- a) Repérer et analyser les exemples de réussites,
- b) Créer un mouvement d'intérêt partagé à la base : sélectionner une organisation partenaire compétente en gestion participative des ressources naturelles, organiser des visites de ferme à ferme, renforcer les capacités des formateurs et agriculteurs, appuyer le développement d'institutions locales à l'échelle des terroirs (villages),
- c) Faire évoluer les politiques et les législations pour dépasser les obstacles et permettre aux communautés de s'engager avec succès, faire du reverdissement par les communautés rurales une nouvelle priorité des stratégies et des programmes de développement agricole/sécurité alimentaire/adaptation et lutte contre le changement climatique,
- d) Développer et mettre en œuvre une stratégie de communication pour atteindre des dizaines de millions d'agriculteurs et permettre le nécessaire changement : mobilisation des médias (radios, télévisions, journaux), documentaires télévisés, Internet, mobilisation des grands leaders et des grandes ONG africaines, ateliers nationaux et régionaux d'échange d'expériences...,
- e) Développer les filières des produits agro-forestiers et mobiliser les marchés,
- f) Renforcer la recherche et la connaissance, mieux mesurer les multiples bénéfices (hydrologie, climat local et global, économie, sécurité alimentaire) de la restauration des terres.

de responsables politiques et de techniciens sur le terrain et l'attribution de prix aux villages les plus engagés dans la restauration agro-sylvo-pastorale sont par ailleurs à recommander. Les responsables sont en effet souvent mal informés des possibilités de passage à une agriculture durable et ils doivent encourager les initiatives : chacun, depuis le paysan de base jusqu'au sommet de l'État, doit pouvoir tirer fierté des progrès réalisés. Le projet de stratégie agroforestière du Niger propose ainsi la création d'un prix présidentiel pour les communautés locales qui se seront distinguées dans l'adoption de la régénération naturelle gérée par les paysans (FMNR : *Farmer-Managed Natural Regeneration*).

Enfin, et surtout, il s'agit de sortir d'une situation qui voit s'opposer politiques agricoles et politiques forestières, personne ne s'occupant de l'agroforesterie. Le WRI recommande à ce titre que les ministères chargés de l'Agriculture fassent du reverdissement par les communautés une priorité des stratégies et des programmes de développement agricole et d'adaptation/atténuation au changement climatique. Il s'agit en effet de passer d'une gestion de type réglementariste à une gestion paysanne dynamique des systèmes/terroirs agro-sylvo-pastoraux, ainsi qu'à une organisation de la production et des filières des produits agroforestiers, et ce, sans méconnaître le rôle d'expertise technique que peuvent jouer les services forestiers.

Le niveau politique se mobilise aussi : ainsi, l'Union africaine, s'appuyant sur la Déclaration de Malabo de juin 2014, développe actuellement une stratégie visant à éradiquer la faim en Afrique d'ici à 2025. Une réunion tenue en août 2014 à N'Djamena sur les zones sèches a notamment affirmé la nécessité que « toutes les familles agricoles et tous les villages de ces régions puissent pratiquer la régénération naturelle d'ici à 2025 ». Le WRI recommande enfin que la prochaine génération de vulgarisateurs agricoles, de techniciens forestiers et de chercheurs

soit formée pour devenir des champions de l'agroforesterie. Et des bailleurs de fonds se proposent maintenant de financer des programmes de restauration portant sur plusieurs dizaines de millions d'hectares.

Le rapport du WRI met également l'accent sur le nécessaire développement des filières des produits agroforestiers et sur la mobilisation du marché. En effet, l'agroforesterie accroît la production agricole dans ces territoires dégradés et elle permet aussi de mettre sur le marché des produits forestiers à haute valeur commerciale qui ne sont pas seulement des bois. L'arganier, pour son huile et les chevreaux que ses feuilles nourrissent, le manguier et le baobab pour leurs fruits, le *Moringa oleifera*, au Sahel, pour ses feuilles et ses graines (qui servent à la fabrication de produits cosmétiques) représentent un potentiel important d'amélioration des revenus des agriculteurs. Des firmes ou des fonds privés (comme le *Moringa Fund*) peuvent soutenir ces développements au bénéfice à la fois des paysans et des investisseurs.

Financer la transition agroécologique pour garantir la sécurité alimentaire et climatique : quels investissements, quels prix et quels dispositifs de rémunération des services environnementaux ?

Le monde est aujourd'hui à la croisée des chemins : soit il est capable de financer le développement, la restauration des terres dégradées et les bonnes gestion, mobilisation et valorisation des ressources naturelles et des agro-écosystèmes par les agriculteurs, éleveurs et forestiers pour sécuriser les biens publics mondiaux vitaux que sont le climat et la sécurité alimentaire, soit il continue à déprécier et à mal valoriser les ressources rurales au risque évident d'une spirale infernale, qui sera beaucoup plus coûteuse en termes d'instabilités sociales et politiques en cascade. L'actualité récente témoigne clairement des conséquences possibles d'une telle spirale : migrations et crises urbaines et sociales, voire terrorisme et faillites d'États.

Il s'agit, d'une part, de réinvestir dans les campagnes pour réussir le développement agricole et rural, réaménager les terroirs-territoires, y créer de la richesse et passer à des systèmes de gestion vertueux, et, d'autre part, d'assurer à long terme des revenus suffisants aux producteurs pour que ceux-ci puissent gérer de façon pertinente l'eau, les sols et la végétation - ce qui pose la question des prix, mais aussi celle de la rémunération des services environnementaux et territoriaux produits par l'agriculture.

Contrairement à la première révolution verte qui consistait surtout à s'équiper de tracteurs et à acheter pétrole, engrais et pesticides en grandes quantités, la révolution agro-écologique passe par des investissements d'un autre type. Il s'agit de trouver et de mettre en œuvre des solutions adaptées à chaque contexte local et d'œuvrer avec la nature. L'investissement peut être pour une bonne part de l'« *aménagement de terroir* » : petits ouvrages de retenues d'eau, création de zaï, de terrasses, de cordons pierreux et de demi-lunes, plantation d'arbres et régénération naturelle de ceux-ci, création de puits et de parcelles irriguées... Des investissements plus lourds peuvent cependant être également nécessaires : reboisements opérés à plus grande échelle, création de pistes rurales, de grands barrages, d'équipements de stockage des produits, de conservation et de transformation agro-alimentaire, de scieries et d'usines de transformation du bois, de méthaniseurs... Et l'accès à des machines agricoles « agro-écologiques », comme à des semences de qualité et à certains engrais, demeurera nécessaire. L'essor de l'agriculture de conservation en grande culture céréalière (blé) au Maroc justifierait, par exemple, la mise en place de PME locales capables de mettre sur le marché des semoirs spécifiques modernes (permettant le semis direct) à des prix acceptables.

La réussite de la révolution agro-écologique demande cependant, aussi et surtout, de financer du *soft*, c'est-à-dire de la recherche et du conseil agronomique/médiation rurale. C'est une nouvelle génération de vulgarisateurs/inter-médiateurs ruraux, de techniciens forestiers et de chercheurs, formée à devenir des champions de l'agro-écologie et de l'aménagement durable et participatif des terroirs, qui est nécessaire. Sur l'île de la Réunion, la réussite des OLAT (opérations locales d'aménagement de terroirs) initiées à la fin des années 1980 n'a été permise qu'au prix d'un investissement humain (animation/formation) important doublé d'aides élevées aux investissements en infrastructures (eau, chemins...). C'est d'ailleurs en améliorant les conditions de vie et de production à court terme que l'on peut convenir, avec les communautés, des voies nécessaires à une transition réussie vers une agriculture durable à long terme. Cela demande du temps (souvent plus d'une année) pour bien définir les projets avec les groupes concernés, ainsi que des visites de terroirs à terroirs, des ateliers de discussion, de la communication, etc.

Des politiques et programmes ambitieux - régionaux, nationaux et locaux - dotés des financements suffisants et appropriés seront donc nécessaires. Une priorité devrait être de mener à bien dans les 10 à 15 années à venir une

restauration à très grande échelle des terres, des pâturages et des forêts dégradés, c'est-à-dire portant sur un total de plusieurs centaines de millions d'hectares, ainsi que de contribuer à de meilleures mobilisation, gestion et valorisation de l'eau et des forêts.

Des financements publics et privés adaptés seront donc nécessaires et les bénéficiaires locaux, mais aussi globaux (stockage du carbone, effet de substitution) des programmes conduits devront pouvoir être chiffrés. Les agriculteurs et les communautés rurales concernés devront pouvoir y apporter une contribution au moins sous la forme de travail, mais aussi sous une forme monétaire. L'accès à un crédit agricole adapté, bonifié le cas échéant, est une clef du nécessaire progrès. Le rapport du GIEC montre que les financements à planifier sont élevés. C'est à chaque pays qu'il revient de se doter de sa propre vision, de ses programmes et de sa doctrine d'action. Des systèmes de cogestion agriculteurs/autorités locales pourraient aussi être impulsés, comme l'a proposé M. Cissoko, un leader agricole de l'Afrique de l'Ouest, lors des récents « Sommets des villes et territoires pour le climat » tenus à Yamoussoukro et à Lyon.

L'investissement dans l'espace rural seul ne suffira cependant pas à garantir à long terme la bonne gestion de l'eau et des sols, et donc le stockage du carbone et la substitution. Si l'investissement permet en effet d'améliorer à la fois la productivité et le revenu, ce dernier est fonction de bien d'autres facteurs, et d'abord des prix consentis aux producteurs. Or, le prix aujourd'hui payé au producteur dépend largement du marché mondial, et la tendance générale observée sur le long terme est une baisse continue, alors que de nombreuses charges ont tendance à s'accroître.

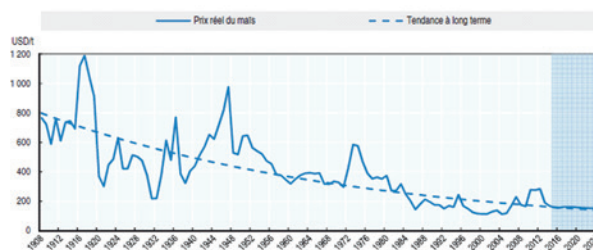


Figure 9 : Prix réels du maïs à long terme.
Source : USDA quickstats.

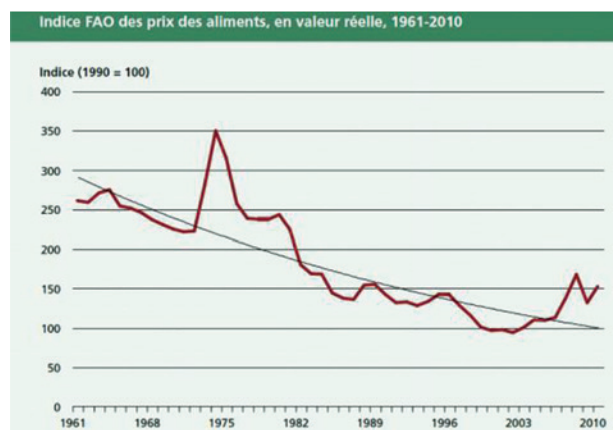


Figure 10 : Indice FAO des prix des aliments.

Cela s'explique : en effet, la concurrence non régulée induite par les accords de libre échange conduit de fait à mettre en compétition entre elles des zones de production éloignées les unes des autres, très différentes par leur géographie agricole et par leur histoire agraire, et donc par leur productivité. Par ailleurs, il suffit d'un très petit surcroît d'offre pour que les prix alimentaires s'effondrent et restent bas (loi de King-Davenant, énoncée dès 1696). Enfin, les grandes firmes de l'industrie et surtout de la distribution bénéficient, de par leur très petit nombre, d'une position dominante dans les négociations avec les agriculteurs et veulent tirer les prix à la baisse pour accroître leurs marges ou élargir leurs marchés. Ainsi, par exemple, le prix mondial du lait, s'il convient aux fermiers néo-zélandais, pays dans lequel l'herbe pousse de façon continue, est trop bas pour l'agriculteur d'une Europe où la productivité et les coûts ne sont pas comparables. Sans système de régulation des marchés ou sans subventions, nombre d'agriculteurs sont donc condamnés à la ruine du fait de la mondialisation. Et avec la disparition de l'agriculture, notamment en montagne, disparaît aussi la capacité locale à bien gérer une couverture herbeuse qui stocke beaucoup de carbone et qui favorise l'infiltration de l'eau dans le sol ainsi que le maintien de paysages et d'une biodiversité d'une valeur exceptionnelle.

Cette contradiction de fond entre la nécessaire bonne gestion de la biosphère (eau, sols, végétation) pour la production d'aménités mondiales (climat, biodiversité et sécurité alimentaire) et la baisse continue des prix agricoles mondiaux telle qu'observée depuis 50 ans, a été clairement mise en exergue lors du 3^{ème} « Dialogue de Caux sur la terre et la sécurité » tenu à Montreux, en Suisse (du 10 au 14 juillet 2015).

De nombreux témoignages ont confirmé combien cette baisse ne permettait plus aux agriculteurs, dans de nombreuses régions, y compris en Afrique, de bien s'occuper de la « durabilité » (sociale et écologique). Le professeur Tony Allan en a conclu que si cette baisse perdurait, « les consommateurs seraient alors amenés à dire aux politiciens de s'en occuper ». C'est en effet une question vitale pour tous.

L'histoire de ces 50 dernières années est d'ailleurs riche d'enseignements à ce sujet. En effet, si l'Europe des Six, la France notamment, a réussi son formidable développement agricole dans les années 1960, c'est parce que des protections commerciales et des outils de régulation des marchés (le FORMA : fonds d'orientation des marchés agricole tout d'abord, puis le FEOGA : fonds européen d'orientation et de garantie agricole) avaient été mis en place. Les prix rémunérateurs ont en effet permis à nos agriculteurs d'emprunter et d'investir.

Inversement, une des raisons du mal développement agricole et rural de l'Afrique est le choix fait par certains gouvernements de favoriser des importations alimentaires à bas prix au bénéfice des seuls urbains, plutôt que de protéger et développer leur propre secteur agricole. Et aujourd'hui, en Europe, de nombreux producteurs sont aussi à la peine du fait de la remise en cause des politiques de régulation des marchés.

Cependant, les défis auxquels nous sommes confrontés aujourd'hui devraient nous obliger à repenser la place de l'agriculture dans l'économie. La nécessité d'une agriculture durable assurant une bonne gestion des ressources, dans le respect de la diversité des territoires et des écosystèmes, et ce au bénéfice de toute la société, devrait en effet imposer des dispositifs garantissant des prix et des revenus suffisants. Les solutions pourraient passer soit par la régulation des marchés à des échelles plutôt régionales que nationales afin de garantir des prix acceptables, c'est-à-dire de faire payer par les consommateurs le vrai prix de la bonne gestion des ressources et de la production des aliments et des biens publics, soit par la mise en place de paiements pour services environnementaux et territoriaux financés par les bénéficiaires situés en aval (comme les villes...) ou par les contribuables.

Ces types de paiements nécessaires devraient s'avérer notamment dans les territoires difficiles de montagne, où la période de végétation est courte, les coûts de production et de collecte sont élevés et les services environnementaux produits par l'agriculture (infiltration de l'eau, stockage de carbone dans les prairies, qualité des paysages et biodiversité) sont d'une grande valeur pour l'ensemble de la société. Dans ce contexte difficile qui est celui de la mondialisation, le maintien d'une agriculture bonne gestionnaire de l'espace est toujours un défi difficile à relever. L'expérience européenne montre à la fois l'importance cruciale des aides de la PAC, leur insuffisance et l'apport décisif que peut représenter la reconnaissance de l'« origine » des produits agricoles. En effet, la rente ainsi créée peut, dans certains cas, garantir un prix suffisamment rémunérateur pour assurer la bonne gestion de l'espace (voir, par exemple, les fromages AOP au lait cru de Beaufort et de Laguiole...). En d'autres termes, le système officiel de l'origine peut avoir pour effet vertueux de faire rémunérer par le consommateur les services environnementaux produits par le producteur. Cependant, le marché de ce type de produits est limité (ils représentent seulement 25 % du marché alimentaire français) et de très nombreux territoires ruraux difficiles, notamment dans les montagnes du sud de l'Europe, n'ont de fait pas réussi à se repositionner favorablement dans la mondialisation. De nombreux territoires ont, par suite, vu leur population baisser de plus de moitié et connu une forte déprise agricole, très négative pour l'environnement et les paysages. En outre, la reconnaissance de l'origine est contestée, à l'OMC, par les pays du groupe de Cairns, qui ne veulent voir reconnues que les seules marques commerciales.

D'autres systèmes de PSE (paiements pour services environnementaux) sont donc nécessaires. La question se pose notamment dans les pays en développement, qui, à l'instar du Maroc, comptent une population rurale très nombreuse et très pauvre dans des territoires aux handicaps permanents (montagnes et zones arides ou semi-arides). C'est en effet dans ces régions que la question de la « durabilité » (socio-économique et environnementale) se pose d'une façon dramatique. Le surpâturage, la dégradation des terres, l'érosion des sols, la déforestation, la désertification y atteignent en effet des niveaux tels que pratiquement tous les barrages construits (à grands

frais) depuis cinquante ans dans le sud et l'est de la Méditerranée devraient, sauf à quelques exceptions près (c'est le cas du barrage d'Assouan, en Egypte), être comblés (envasés) avant la fin du siècle, alors qu'il n'existe pas d'autres sites disponibles pour en construire de nouveaux ! En outre, avec le changement climatique, les risques de dégradation sont lourds. Ainsi, sauf renouveau agricole/rural et écologique rapide redonnant de la résilience aux écosystèmes et aux sociétés - et de la richesse aux territoires -, les fragilités s'aggraveront et nous nous acheminerons vers des « terroirs mutants » et des migrations massives qui poseront d'immenses problèmes de durabilité aux grandes villes d'accueil.

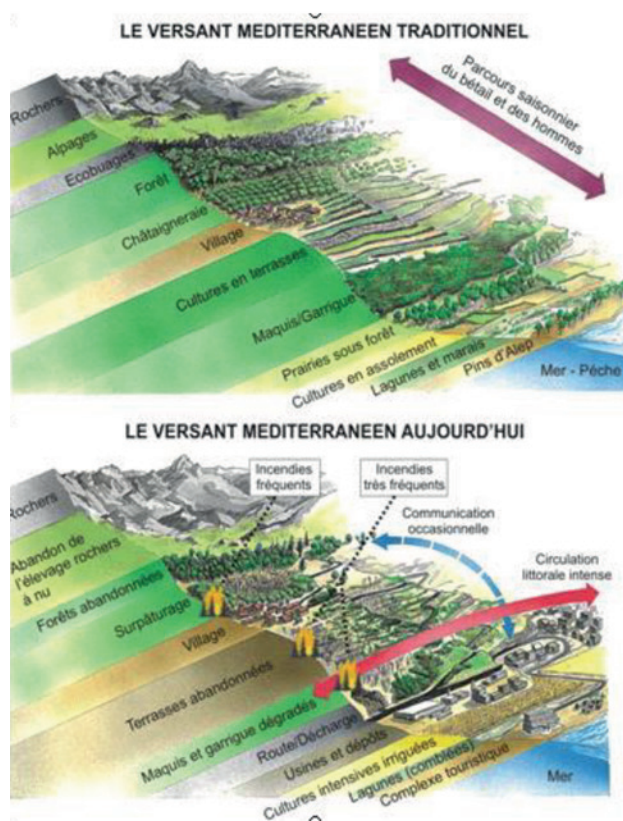


Figure 11 : Mondialisation, littoralisation et non intégration des externalités.

Vers le paiement des services territoriaux produits par l'agriculture pour maintenir la cohésion sociale et préserver les biens publics ?

Il serait donc d'un intérêt public majeur non seulement de développer dans ces pays une économie de « produits de terroirs », comme le Maroc s'y est admirablement engagé depuis quelques années, mais aussi de négocier avec les communautés locales des plans de gestion des terroirs, associés à des systèmes de financement pour services environnementaux et territoriaux permettant de sortir des cercles vicieux actuels de la pauvreté/désertification pour passer à des spirales vertueuses de développement durable.

En d'autres termes, le temps est sans doute venu d'innover et de mettre en place, dans ces régions d'importance stratégique, des systèmes couplés de plans de gestion

des terroirs et de transferts monétaires directs aux familles et aux communautés rurales nécessiteuses, des transferts négociés avec les communautés.

Comme de nombreux États du Sud consacrent souvent plus de 5 % de leur PIB au versement de subventions à la consommation des produits de base (pétrole, gaz, électricité, blé, pain), le passage à des systèmes de transferts monétaires directs (TMD) pourrait d'ailleurs représenter un progrès politique majeur favorable à une transition réussie vers un développement durable. Les systèmes actuels de subventions, outre qu'ils sont extrêmement coûteux pour les finances publiques, bénéficient en effet souvent plus aux riches qu'aux pauvres, encouragent la surexploitation des nappes phréatiques et entravent la nécessaire transition vers un nouveau mix énergétique décarboné. Il serait donc bien préférable de mettre en place des systèmes de filets sociaux bénéficiant aux seules familles nécessiteuses et contribuant positivement à la nécessaire transition énergétique et agro-écologique. Si le passage d'un système d'aide à l'autre peut s'avérer politiquement très délicat, il pourrait aussi être d'un grand bénéfice. Les expériences de nombreux pays d'Amérique latine confirment la possibilité et le bien-fondé de systèmes de type TMD, qui, dans ces pays, ont été assortis de conditionnalités sociales (présence obligatoire des enfants à l'école, visites médicales) pour réussir une sortie de pauvreté plus structurelle. Cependant, une sortie durable de la pauvreté nécessiterait aussi de restaurer les écosystèmes et les terres dégradées et de se prémunir contre les effets du changement climatique. Mettre en place des TMD assortis de conditionnalités environnementales (plans de gestion des terroirs) négociés avec les communautés pourrait donc représenter un progrès important pour le développement durable.

Garantir ces deux grands biens publics que sont le climat et la sécurité alimentaire nécessitera donc des financements adaptés, mais aussi beaucoup d'innovations dans l'aménagement et la gestion des milieux, dans les pratiques agricoles et dans les filières agricoles, ainsi que dans les politiques, les institutions et les *process*.

S'engager lors de la COP21 : l'initiative « 4 pour 1 000 : des sols pour la sécurité alimentaire et le climat »

La question climatique et la COP21 représentent une opportunité historique pour remettre un peu « les pieds sur terre », faire ressortir l'importance stratégique du secteur des terres et des exemples de solutions à triple gain et, enfin, pour se fixer un agenda d'actions et dégager des financements pour à la fois « recarbone » la biosphère, réussir l'adaptation et l'atténuation et assurer la sécurité alimentaire.

On peut notamment mettre à profit l'« Agenda des solutions » (Plan d'action Lima-Paris) de la COP21 pour contribuer à impulser les nouvelles visions et dynamiques nécessaires. Cela a conduit la France à proposer, au printemps 2015, d'y inclure l'« Initiative 4 pour 1 000 : des sols pour la sécurité alimentaire et le climat », laquelle comprend deux volets : un programme international de

recherche et de coopération internationales, et une alliance internationale d'acteurs s'engageant à lutter contre la pauvreté et contre l'insécurité alimentaire.

Les objectifs du « 4 pour 1 000 » sont à la fois de repositionner positivement le débat agriculture/climat, de concentrer de nouveaux financements et favoriser la mise en place de politiques de développement adaptées, de renforcer les synergies entre les trois grandes conventions des Nations Unies (climat, biodiversité et désertification), ainsi qu'avec le comité de la sécurité alimentaire et les nouveaux ODD (objectifs de développement durable) post-2015 des Nations Unies, et, enfin, d'inciter les acteurs à se mobiliser de façon coordonnée et à s'engager sur la voie d'une transition agricole fondée sur une gestion intelligente des sols qui soit porteuse de développement durable.

Cette initiative a déjà obtenu des soutiens de poids, dont celui de la FAO : elle peut être un point d'appui pour un

véritable changement dans notre capacité à comprendre les défis posés au monde et à y apporter les réponses nécessaires pour des transitions réussies.

Conclusion

Relever le défi climatique mondial, c'est à la fois « dé-carboner » l'économie et « recarboner » la biosphère (sols et biomasse). Et ne s'occuper que d'un terme de l'équation, c'est, à coup sûr, aller à l'échec. La question climatique représente donc une opportunité historique pour reprendre conscience de l'importance stratégique des ressources rurales et relever les défis de la pauvreté, du développement et de la durabilité. Les urbains doivent d'urgence en prendre conscience et permettre aux campagnes d'innover, d'investir et de pouvoir gérer l'eau, les sols et les forêts de façon productive et durable afin de sécuriser l'avenir de tous.

Réflexions d'un jeune ingénieur sur le colloque *Changer avec le Climat* tenu à Bercy le 30 juin 2015

Par Pierre JÉRÉMIE
Ingénieur des mines

En cette année 2015, qui verra la France accueillir en décembre la 21^{ème} Conférence des parties (COP21), il m'a été donné d'assister, le 30 juin dernier, au colloque « Changer avec le climat » organisé conjointement par l'Association française de prévention des catastrophes naturelles (AFPCN) et le Conseil général de l'Économie (CGE). Les grands enjeux du changement climatique y ont été débattus sur la base de perspectives dressées en matière économique, technique et sociétale. Le présent compte-rendu des travaux du colloque (agrémenté de quelques digressions) décrit notamment trois exemples de filières économiques susceptibles de contribuer à une bonne gestion du cycle de carbone, au travers d'actions allant de projets prométhéens et transnationaux à des solutions plus champêtres et de dimension locale. Face aux incertitudes qui s'attachent tant à l'ampleur des bouleversements climatiques qu'au montant des investissements à réaliser, une chose paraît certaine : les meilleures solutions sont celles qui permettent à la fois une bonne adaptation au changement climatique et une réduction sensible des émissions de gaz à effet de serre.

Introduction

La COP21, que la France accueillera du 30 novembre au 11 décembre 2015, est un événement majeur de par sa taille et son enjeu : l'objectif d'un accord international, voire universel, sur le climat - un accord qui soit aussi engageant, voire contraignant que possible afin de maintenir l'élévation de température globale en dessous des 2°C. C'est un objectif très ambitieux qui exige, selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), que les émissions anthropiques de gaz à effet de serre (GES) cumulées d'ici à 2100 soient maintenues en deçà de 1 000 gigatonnes (Gt). Le rythme d'émission actuel de 35 Gt/an laisse présager que les 1 000 Gt d'émissions cumulées de GES seront atteintes dès 2040. Il y a donc un enjeu majeur au succès diplomatique de cette conférence, qui doit rendre possibles les efforts importants qui sont nécessaires pour maintenir le réchauffement planétaire à un niveau tolérable. Les principaux émetteurs de gaz à effet de serre devront en particulier s'engager sur les termes d'un accord universel entrant en vigueur à l'horizon 2020 - dont l'accord bilatéral États-Unis-Chine de 2014 pourrait constituer le point de départ.

L'accord qui sera signé à Villepinte ne pourra pas être l'unique instrument du combat contre les émissions de

GES. Ce sera l'objet de l'agenda des solutions que de cibler des leviers économiques et techniques permettant d'orienter les investissements vers une meilleure prise en compte de l'exigence de la lutte contre le réchauffement climatique ; cela passera par des orientations fiscales et subventionnelles, par des progrès technologiques et une action volontariste en matière de préservation des « puits de carbone » (des forêts, notamment).

Au cours du colloque du 30 juin 2015 auquel j'ai pu assister, le choix a été fait d'aborder en premier lieu la question de la lutte contre le réchauffement climatique sous l'angle de l'analyse économique ⁽¹⁾. Des efforts importants ont été consentis en France et en Europe : la France, plus particulièrement, du fait des choix de politique énergétique qu'elle a faits depuis 1970, a su, en comparaison à d'autres pays, aller bien plus loin dans la décarbonation de son économie. Un des enjeux clés de la COP21 sera de parvenir à faire partager la dynamique européenne de réduction des émissions par un large ensemble de pays

(1) « Remarques économiques et historiques sur les enjeux de la négociation climatique à venir », VALÉRIAN (F.), *Annales des Mines, Responsabilité & Environnement*, n°80, octobre 2015

émetteurs, et notamment par les grandes puissances émergentes, compte tenu de l'importance et de la croissance rapide de leurs émissions. Le défi économique de l'atténuation du réchauffement climatique et de l'adaptation au changement climatique, qui exigent des investissements considérables, pourra être transformé en une opportunité de développement de nouvelles activités économiques et de création d'emplois dans de nouvelles filières, à la condition toutefois que les politiques publiques parviennent à faire concorder les incitations économiques avec la préservation des équilibres écologiques.

À ce défi économique s'ajoute un défi technologique ⁽²⁾. Les différentes solutions émergentes présentées en matière de gestion de l'énergie se déploient dans le temps long. Le secteur énergétique présente une inertie importante corrélée non seulement à l'ampleur des investissements à réaliser, mais aussi à la lenteur du rythme de développement des nouvelles technologies et de leur adoption. La croissance importante des énergies renouvelables pose la question des investissements substantiels indispensables pour mettre à niveau les réseaux et pouvoir maintenir l'équilibre de systèmes électriques comportant une part croissante de sources intermittentes. Les technologies de stockage massif de l'électricité n'en sont encore qu'au stade de la recherche et développement et, pour l'essentiel, elles n'ont pas encore franchi le cap de l'industrialisation mis à part le cas, limité par nature, du stockage par pompage/turbinage d'eau. Enfin, l'émergence de technologies de captage et de stockage des gaz à effet de serre est subordonnée à la question d'une valorisation économique de ces gaz, si l'on veut que ces technologies deviennent rentables. Les perspectives d'évolution technologique du secteur énergétique sont à mettre en parallèle avec celles du secteur des transports, qui est responsable de plus de la moitié de la consommation mondiale de pétrole. L'évolution de ce secteur s'est inscrite jusqu'à présent dans le temps long, et sa décarbonation passera probablement par un panachage entre différentes solutions pertinentes pour chacun des divers modes de transport.

Enfin, le troisième défi posé par les évolutions climatiques est d'ordre sociétal ⁽³⁾ : si des mesures suffisantes, requérant une transition de nos modes de consommation et de nos outils de production vers des solutions moins émettrices, ne sont pas prises rapidement, les changements climatiques qui surviendront seront d'une ampleur telle qu'ils risquent de susciter des flux migratoires sans précédent. Une action, sinon globale, tout du moins transnationale - qu'elle soit fiscale, infrastructurelle et administrative ou monétaire -, sera nécessaire pour prévenir une catastrophe tant humanitaire qu'écologique à l'échelle planétaire.

Au-delà de cette vision économique et d'une mise en perspective technologique et prospective de la question de l'adaptation et de l'atténuation du changement climatique, ce colloque a également cherché à dégager les problématiques spécifiques de trois champs d'action concrets susceptibles d'être fortement touchés par les évolutions climatiques, tout en étant en première ligne

pour proposer des solutions participant à la maîtrise des émissions de GES et à l'atténuation des effets du réchauffement climatique : a) la gestion des sols (notamment des espaces exploités par l'agriculture et l'élevage, en interaction avec les enjeux de sécurité alimentaire et de capture de carbone dans les sols), b) l'industrie du bois et la gestion des espaces forestiers et, enfin, c) l'émergence de filières de séparation, séquestration et valorisation du dioxyde de carbone. Ce sont là trois domaines dans lesquels des solutions concrètes devraient voir le jour.

Éléments de contexte et enjeux

Rappels sur les enjeux économiques et les politiques publiques du changement climatique

Avant toute chose, il convient de rappeler que des doutes importants subsistent au sujet de la rentabilité économique des efforts de lutte contre le réchauffement climatique - au-delà de l'évidence de l'impératif moral qu'il y a à préserver l'environnement - et que l'évaluation économique du coût de la lutte contre le réchauffement climatique et ses effets tombe sous le coup d'une double incertitude portant non seulement sur le coût marginal de ces efforts, mais également sur l'amplitude du réchauffement qui se produira *in fine* quand sera atteint un certain niveau d'émissions. Cette double incertitude ne manque pas de rendre la tâche d'estimation et d'analyse économique particulièrement ardue. Nous présenterons ici cette double incertitude et les difficultés qui en résultent pour définir une politique publique, à partir d'éléments de l'exposé de François Valérian.

Il y a en pratique une interpénétration entre des sujets économiques, historiques et scientifiques : nous verrons que cela ne manque pas de nous inviter à faire une lecture historico-économique du réchauffement climatique. Nous décrirons ici quelques mécanismes de lutte contre le changement climatique, puis la mécanique des conférences climatiques.

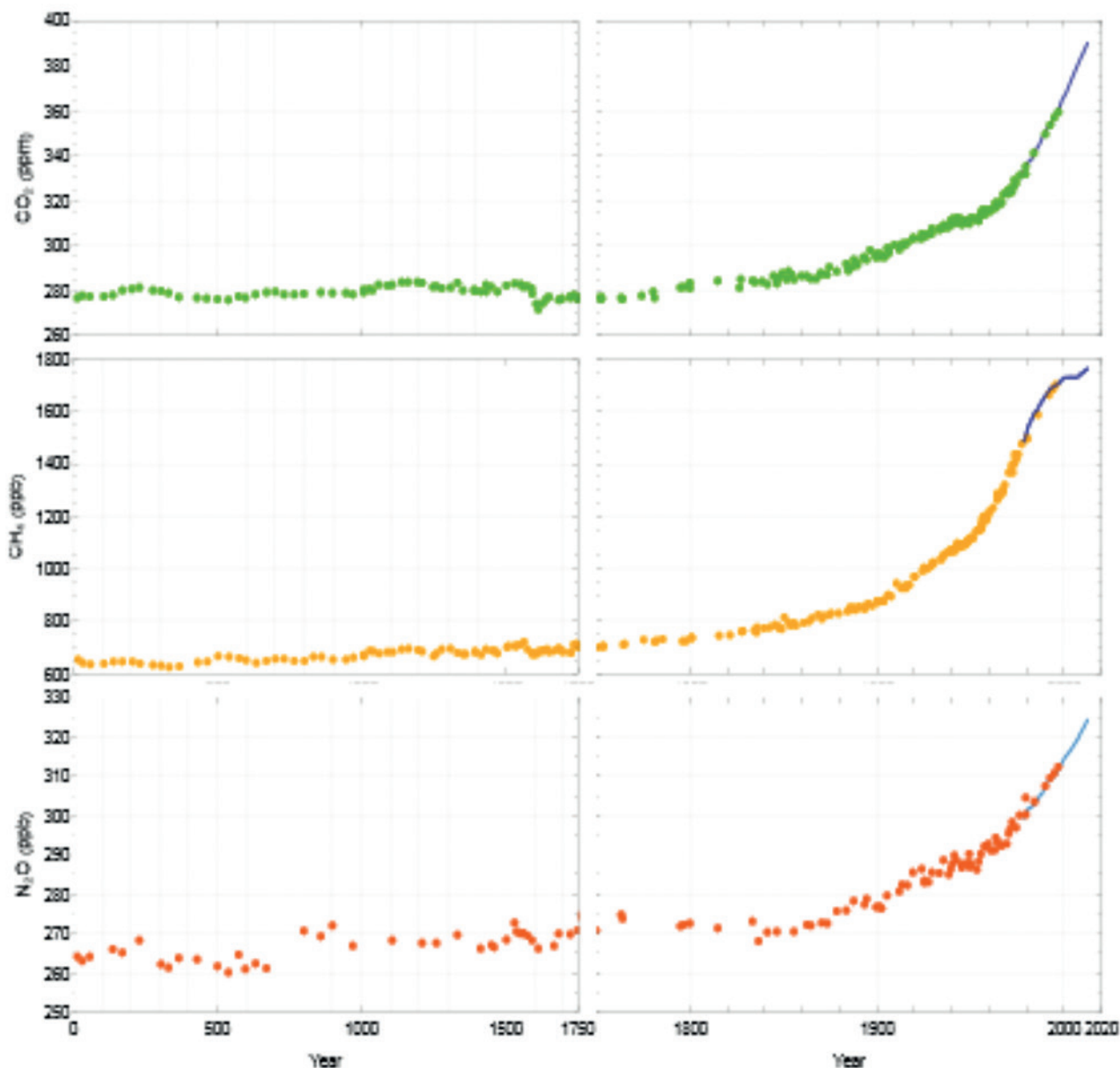
Comme l'a proposé François Valérian dans son exposé, nous retiendrons comme hypothèse de départ ce que l'on appelle le *consensus climatique* : il ne s'agit ni d'une loi ni d'une vérité climatique, mais plutôt d'une nécessité pratique pour mener à bien cette réflexion. Trois faits saillants issus du dernier rapport du GIEC ⁽⁴⁾ et figurant en *introit* de l'exposé peuvent ici être mis en exergue :

- « Chacune des trois dernières décennies a été plus chaude que toutes les décennies précédentes depuis 1850 » ;

(2) « Analyse prospective des solutions technologiques au défi climatique », APPERT (O.), Annales des Mines, Responsabilité & Environnement, n°80, octobre 2015.

(3) Réchauffement climatique, sécheresses et migrations, GAUDIN (T.), *ibidem*.

(4) IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.



Graphique 1 : Concentrations atmosphériques des principaux gaz à effet de serre (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote) d'après carottages ⁽⁵⁾.

- « Il est extrêmement probable que plus de la moitié de l'augmentation observée dans la température moyenne globale de surface de 1951 à 2010 a été causée par l'augmentation anthropogène des concentrations en gaz à effet de serre, en même temps que d'autres pressions, anthropiques ou non » ;
- « des changements dans de nombreux événements climatiques extrêmes, probablement corrélés au changement climatique général, ne peuvent être niés ».

Pour reprendre les éléments de diagnostic présentés lors du colloque, la concentration atmosphérique en dioxyde de carbone atteignait, en 2011, 391 parties par million (ppm), soit 112 ppm de plus qu'en 1750. Sur ces 112 ppm, 72 ont été constatées depuis 1960. Dans les scénarios sans effort d'atténuation particulier, cette concentration atteindrait de 750 à 950 ppm d'ici à 2100. Dans de tels scénarios, selon les simulations du GIEC, la température devrait augmenter de plus de 2°C par rapport à

la moyenne de la période 1750-1900. On estime que cela peut être évité en stabilisant cette concentration à 450 ppm en 2100, et que la hausse de la température moyenne pourrait alors être jugulée à 2°C. Ce chiffre des 2°C est apparu pour la première fois dans un ouvrage de R. Dubost et B. Ward en vue de la conférence de Stockholm de 1972 (il fut alors présenté comme un scénario ne devant pas être dépassé). En 1995, il fut à nouveau évoqué, mais cette fois comme un scénario médian, et non plus comme un scénario à ne pas dépasser. Il constitue aujourd'hui un objectif simple et largement partagé par les participants aux négociations.

(5) D'après l'exposé « Actions de réduction et projections des concentrations atmosphériques de CO₂ », CIAIS (Philippe), LSCE Gif-sur-Yvette.

Si ces éléments de diagnostic, qui sont présentés de manière plus détaillée dans l'article de François Valérian ⁽⁶⁾, publié dans ce même numéro de *Responsabilité et Environnement*, commencent à faire consensus, les solutions pour atteindre cette cible des 2°C restent d'une construction plus délicate. Si, comme nous l'avons dit, une analyse économique quantitative se trouve rapidement confrontée à la quasi-impossibilité d'estimer avec une marge de certitude satisfaisante les données d'entrée du problème, les outils conceptuels de l'analyse économique peuvent toutefois être mobilisés pour comprendre la difficulté à faire émerger des solutions partagées de maîtrise des émissions. Il y a un vrai problème de *stratégie du passager clandestin* : chacun est susceptible de faire peu d'efforts en comptant sur les autres, avec le risque d'une inaction généralisée : on est donc dans le *dilemme du prisonnier*, dont on ne peut sortir que par une action collective volontaire.

À l'échelle nationale ou à l'échelle internationale, plusieurs outils ⁽⁷⁾ peuvent être envisagés pour fournir des incitations à la décarbonation des activités humaines. J'en citerai trois, les plus fréquemment évoqués (outre l'aide à la recherche et à l'innovation) :

- a) L'outil réglementaire : imposer des normes sévères à certaines activités émettrices de carbone, voire les interdire. Cette solution est susceptible d'être appliquée à certaines activités économiques pour lesquelles des solutions de substitution existent ou peuvent être développées ; on doit viser en priorité des pratiques à l'effet particulièrement délétère (par exemple, les cultures sur brûlis pratiquées dans certaines zones) ;
- b) Une famille d'outils cherchant à construire un système de prix du carbone en taxant le carbone émis, en diminuant les subventions aux énergies fossiles et en subventionnant des énergies alternatives ;
- c) La mise en place d'un marché fondé sur le volume de carbone émis, à travers la création d'un système de quotas.

Comme cela a été expliqué lors du colloque, il y a actuellement un débat animé chez les économistes sur les mérites respectifs de ces deux derniers types d'outils - un débat que l'on peut faire remonter à l'article publié en 1974 de Martin L. Weitzman, *Prices versus Quantities*. Pour en livrer un résumé et une analyse personnelle succincte, cet article de Weitzman, tel que le décrit Pizer dans une note d'octobre 1997 intitulée *Prices versus Quantities Revisited, the case of Climate Change*, part du constat que, sur un marché régulé en situation d'information parfaite sur le coût des efforts de réduction des émissions, des contrôles sur les prix ou sur les volumes produits sont strictement équivalents en termes d'efficacité économique. L'opposition entre les deux méthodes trouve son origine dans le fait suivant : selon que l'on fait l'hypothèse que le *revenu* des producteurs de carbone décroît de plus en plus vite à mesure que l'on fait des efforts de réduction, ou que l'on fait celle que le *coût des réductions* décroît à mesure que l'on fait des efforts de réduction, le choix n'est pas le même. La question du caractère croissant ou dé-

croissant du coût marginal d'une réduction des émissions est en effet critique : les taxes figent le coût marginal des réductions au niveau déterminé de la taxe. De ce fait, elles sont moins intéressantes dans des situations où les coûts marginaux des réductions d'émissions sont croissants.

À l'inverse, un système de permis d'émission limite les volumes de GES produits, mais il donne lieu à toute une gamme de coûts potentiels. Or, en pratique, il me semble clair que l'ampleur des incertitudes statistiques, la diversité des champs techniques émettant des GES et celle des conditions économiques rencontrées par les acteurs économiques concernés par le problème rendent particulièrement complexe la résolution de cette question. Au-delà de cet argumentaire de stricte optimalité technique, il s'agit également, me semble-t-il, d'un choix de politique économique entre, d'une part, des solutions *market-based* comme le sont les quotas, mais supposant une gouvernance complexe de l'allocation de quotas et une certification dont les coûts de transfert et de réalisation sont délicats à apprécier et, d'autre part, des solutions (notamment fiscales ou subventionnelles) supposant une implication plus forte des États dans le fonctionnement de l'économie, plus aisées à moduler sur différents territoires et traditionnellement plus keynésiennes que libérales.

Une politique de quotas soulève, comme le fait remarquer François Valérian, la difficulté technique de l'année de référence. Kyoto retient 1990, la dernière année où fonctionnait, en régime plus ou moins nominal, l'appareil industriel soviétique, ce qui rendait commode sa mise en œuvre, au moins pour les pays de l'ex-bloc de l'Est. Les marchés de quotas ont par ailleurs une efficacité discutable : ils permettent certes de fixer un prix à l'émission carbonée, mais ils supposent nécessairement l'existence d'un acteur public qui, en dernier ressort, rachèterait toujours les émissions carbonées. Cela reviendrait, au fond, à créer une nouvelle monnaie basée sur l'engagement des banques centrales, ce qui mérite d'être considéré avec une certaine circonspection, tant au regard du coût qu'au regard de l'inefficacité de marchés par essence peu liquides.

Au-delà de ces incertitudes pesant sur les politiques les plus opportunes à mettre en œuvre et sur les méthodologies de leur implémentation, il y a une grande difficulté à simplement évaluer les investissements nécessaires : à titre d'exemple, si le rapport du groupe de travail n°3 du GIEC de 2014 fait état d'investissements s'élevant en 2009 à 450 milliards de dollars par an, pour atteindre 750 milliards de dollars par an sur la période allant jusqu'en 2029, ces chiffres doivent être entendus comme des ordres de grandeur en raison de leur ampleur et de l'éloignement des horizons temporels retenus.

En tout état de cause, les nombreuses incertitudes pesant sur toute analyse économique de ce problème plaident (comme l'observait François Valérian en conclusion de la

(6) Remarques économiques et historiques sur les enjeux de la négociation climatique à venir, VALÉRIAN (F.), *op. cit.*

(7) Faisant l'objet d'une analyse plus détaillée dans [6].

première partie de son exposé) en faveur d'une approche pragmatique du sujet cherchant à identifier certains secteurs ou certaines filières clés, vers lesquels des investissements pourraient être orientés, qui auraient un impact favorable sur les émissions de gaz à effet de serre, tout en apportant également d'autres bénéfices économiques.

D'une politique publique du climat à l'émergence d'instances de dialogue œuvrant pour une politique globale de lutte contre le réchauffement climatique

La première notion de politique publique du climat que j'ai pu trouver au cours de mes recherches remonte aux *Recherches et considérations sur la population de la France* de Moheau (1778)⁽⁸⁾. Celui-ci affirmait notamment : « *Il dépend du gouvernement de changer la température de l'air et d'améliorer le climat ; un cours donné aux eaux crouissantes, des forêts plantées ou brûlées, des montagnes détruites par le temps ou par la culture continuelle de leur superficie forment un sol et un climat nouveau. Tel est l'effet du temps, de l'habitation de la Terre, et des vicissitudes dans l'ordre physique, que les cantons les plus sains sont devenus morbifiques* ».

C'est toutefois aux États-Unis, dans les années 1950 et 1960, qu'est née en pratique la notion moderne de modification du climat, avec notamment des recherches sur des techniques permettant de modifier le climat chez l'adversaire dans le contexte de la Guerre froide. Nous examinerons dans la présente section les politiques publiques en matière climatique des quatre principaux pays émetteurs, qui représentaient, en 2013, 58 % des émissions globales (28 % pour la Chine, 14 % pour les États-Unis, 10 % pour l'Union européenne et 7 % pour l'Inde), en reprenant le fil de la seconde partie de l'exposé de François Valérian, dédiée aux politiques publiques du climat.

Dès 1960-1970, l'idée apparaît clairement au sein de l'administration américaine de ne pas conduire ces réflexions sur un chemin susceptible de nuire à la croissance économique. Henry Kissinger, notamment, avait adressé dans les années 1970 une note à l'UNED (*United Nations Environment and Development*) lui recommandant de s'en tenir à la *dépollution*. En 1997 un amendement bipartisan voté à l'unanimité au Sénat américain demandait à l'administration de ne pas signer d'accord climatique susceptible d'avoir un impact majeur sur l'économie américaine. Certains États (comme la Californie ou ceux du Nord-est) mettront certes en place leurs propres politiques, souvent voisines des différents schémas mis en œuvre en Europe à partir du début des années 1990, mais, au niveau fédéral, toute politique publique de réduction des émissions paraît aujourd'hui conditionnée par une évolution politique majeure.

En Europe, les « Paquets Énergie-Climat » successifs ont été mis en place en intégrant les particularismes de certains États membres (une économie française très peu carbonée du fait du choix historique de développer un parc électronucléaire important, le choix par l'Allemagne de son « tournant énergétique », une Pologne à la tradition charbonnière...), donnant ainsi lieu à un équilibre géopolitique complexe des négociations communautaires

européennes en matière d'énergie et de politique du climat, comme peut l'illustrer l'actuelle divergence entre les choix énergétiques allemands et français, pourtant présentés sous des termes aussi voisins qu'*Energiewende* et *Transition énergétique*. Les États membres ont intégré ces objectifs dans leurs politiques nationales, notamment la France, qui fait figurer l'objectif d'une division par quatre de ses émissions d'ici à 2050 dans la loi de transition énergétique pour une croissance verte, promulguée le 18 août 2015. Un tel objectif ne manque pas d'avoir des implications importantes en termes de choix de vie, voire de choix de société : je rappellerai ici que les émissions françaises ont été, selon les chiffres de l'AIE, de 5,8 tonnes de CO₂ équivalent par habitant en 2007, à mettre en rapport avec les 2,2 tonnes émises pour un aller-retour Paris-New York en classe économique, et qu'en 2014 (selon les chiffres du *Bulletin statistique de la DGAC*) 112,9 millions de passagers ont utilisé un vol France-international.

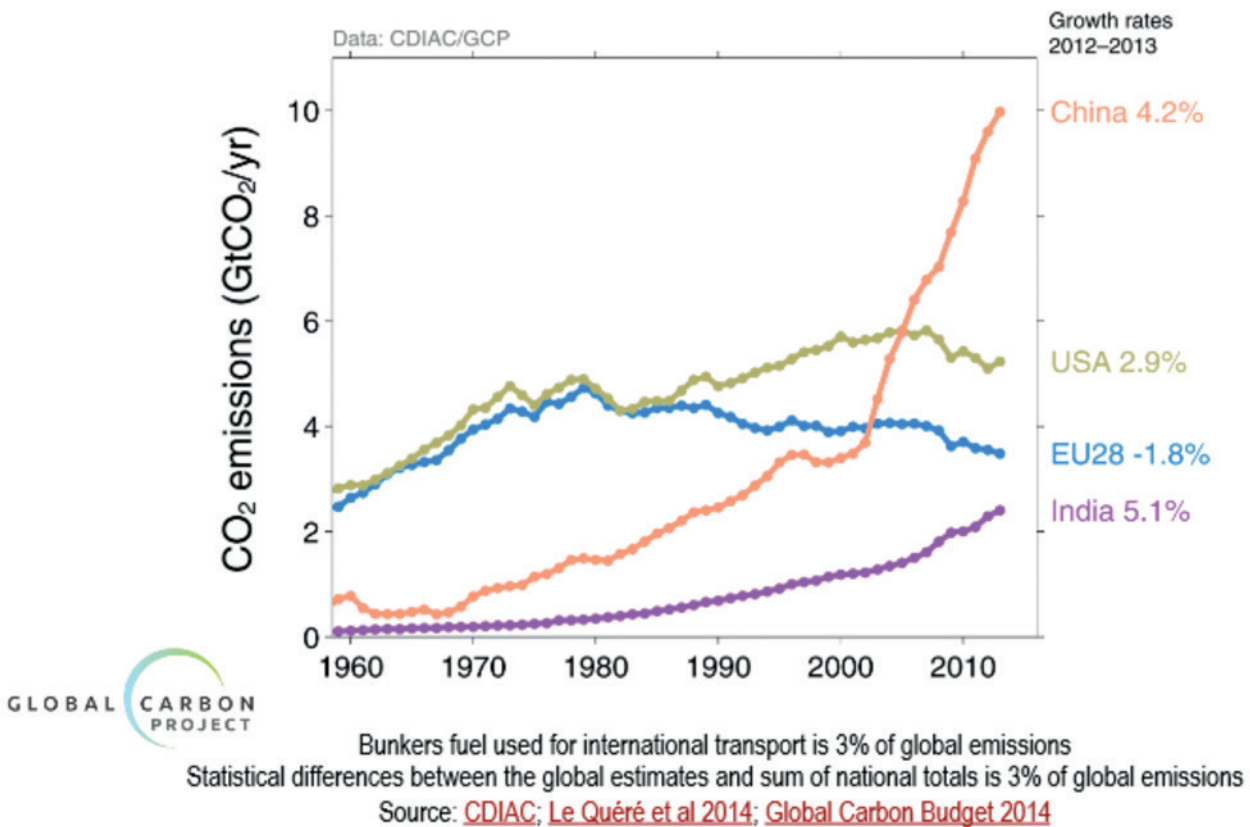
Le sujet est encore plus complexe dans les pays en développement, qui sont regroupés dans diverses instances associant parfois la Chine : citons notamment le G77, l'EOSIS qui regroupe les petits États insulaires, le groupe des États les moins industrialisés, etc.

Des oppositions au sein du groupe des pays du Sud ont notamment transparu à Durban lors d'une intervention du représentant de Grenade, qui mettait en perspective le développement rapide de l'économie et des émissions carbonées des pays émergents et l'impact sur de petites économies insulaires du réchauffement climatique et de la montée des océans.

Quant aux grands pays émergents, leur position n'est plus un refus systématique de toute concession en matière de réduction de leurs émissions de GES, dès lors que la priorité est accordée au développement économique et à la lutte contre la pauvreté. Un témoignage de cette évolution est l'accord conclu en 2014 entre les États-Unis et la Chine, par lequel celle-ci s'engage à réduire ses émissions à partir 2030, sans écarter une augmentation encore substantielle de ses émissions d'ici là. Ce revirement n'est pas sans lien avec la sensibilisation des populations aux impacts sanitaires des émissions industrielles, même si le dioxyde de carbone ne présente pas de risques en exposition chronique à faibles doses. Le mix énergétique brésilien, quant à lui, comprend beaucoup d'hydroélectricité et de biocarburants, mais l'ampleur de la déforestation conduit finalement à un bilan carbone relativement défavorable, bien que perfectible sous réserve d'amplifier la lutte contre le déboisement et contre la culture sur brûlis. Pour leur part, l'Inde et l'Afrique du Sud sont des puissances charbonnières historiques.

Le Graphique 2 de la page suivante résume l'ensemble des éléments évoqués plus haut : l'évolution sur le temps long des émissions des États-Unis, suivant le rythme de leur croissance économique moyenne et correspondant à

(8) Et donc précédant la première parution des *Annales des Mines* de quelques années.



Graphique 2 : Évolution des émissions de dioxyde de carbone pour les quatre principaux émetteurs ⁽⁹⁾.

une absence de politique fédérale de réduction des émissions, des efforts visibles de la part des États membres de l'Union européenne donnant lieu à des baisses substantielles des émissions à partir de 1980, liées pour partie aux politiques volontaristes mises en œuvre (incluant un système d'allocation de quotas d'émissions), ainsi qu'aux délocalisations de certaines activités fortement émettrices dans des pays à bas coûts de main-d'œuvre. Ces évolutions dans les économies développées viennent en regard de l'explosion des émissions des économies émergentes, notamment chinoise et indienne, liée à leur croissance économique très rapide ainsi qu'à la part du charbon dans leurs parcs de production d'électricité.

À partir des années 1970, suite aux progrès de la connaissance sur le climat et sur l'évolution de la composition de l'atmosphère, notamment au travers des travaux du GIEC, les négociations internationales sur le climat se sont organisées selon une gouvernance spécifique mise en place depuis le Sommet de la Terre de Rio-de-Janeiro (1992), qui alterne de simples conférences des parties (CoP, *Conference of Parties*) signataires de la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques, dans lesquelles les parties s'entendent sur un programme de négociation et, parfois, sur des rendez-vous pour valider des décisions éventuellement contraignantes.

Le dernier accord contraignant remonte à la 3^{ème} Conférence des parties qui s'est tenue à Kyoto en 1997. Celui-ci, plus connu sous le nom de Protocole de Kyoto, est entré en vigueur le 16 février 2005 « au quatre-vingt-

dixième jour après la date à laquelle au moins 55 Parties à la Convention incluant les Parties Annexe I qui comptaient en 1990 un total d'au moins 55 % des émissions de CO₂ de ce groupe avaient déposé leurs instruments de ratification, d'acceptation, d'approbation ou d'accession ».

Aujourd'hui quasi universellement ratifié (sauf par les États-Unis et le Canada), il fixe comme objectif une réduction entre 2008 et 2012 d'au moins 5 % des émissions de six gaz à effet de serre (le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote et trois substituts des chlorofluorocarbones) par rapport au niveau atteint en 1990. Il avait été prévu en 1997 de poursuivre en 2005 des négociations pour la période après 2012, mais celles-ci n'ont pas pu avoir lieu au niveau mondial ; seules certaines parties ont choisi de manière volontaire de poursuivre l'effort de réduction de leurs émissions de GES au-delà de la période visée par le protocole.

Un autre enjeu de la prolongation des efforts du protocole de Kyoto a été d'associer les pays en voie de développement ⁽¹⁰⁾ à des engagements quantifiés de réduction de leurs émissions de GES, qui n'étaient pas visés précédemment. L'évolution de la répartition mondiale des émissions (visible dans les courbes du Graphique ci-dessus)

(9) D'après l'exposé « Actions de réduction et projections des concentrations atmosphériques de CO₂ », CIAIS (Philippe), LSCE Gif-sur-Yvette.

(10) Il est à ce propos intéressant de noter qu'en 1997, la Corée du Sud n'avait pas été visée par le protocole.

explique le choix fait en 1997, ainsi que l'importance qu'il y a à associer l'ensemble des émetteurs (pays émergents ou non) dans un accord global visant une réduction des émissions ou tout du moins une maîtrise de l'intensité carbone des différents pays.

La plateforme de négociation retenue à Durban a fixé comme objectif à la Conférence des parties de Paris en 2015 d'aboutir à « un protocole, un autre instrument juridique ou un texte convenu d'un commun accord ayant valeur juridique ». Il me semble clair qu'un échec ne manquerait pas de mettre tous les pays devant leurs responsabilités - en particulier les grands émergents, à l'heure où ceux-ci aspirent à une stature diplomatique mondiale.

Éléments prospectifs sur les solutions technologiques

Si les progrès technologiques sont naturellement une des voies essentielles pour la résolution du défi climatique, force est d'admettre que les progrès majeurs, en particulier en matière de maîtrise de l'énergie, se déploient dans le temps long. Nous reprendrons ici succinctement l'état des lieux de la consommation d'énergie primaire qu'Olivier Appert a proposé dans son exposé.

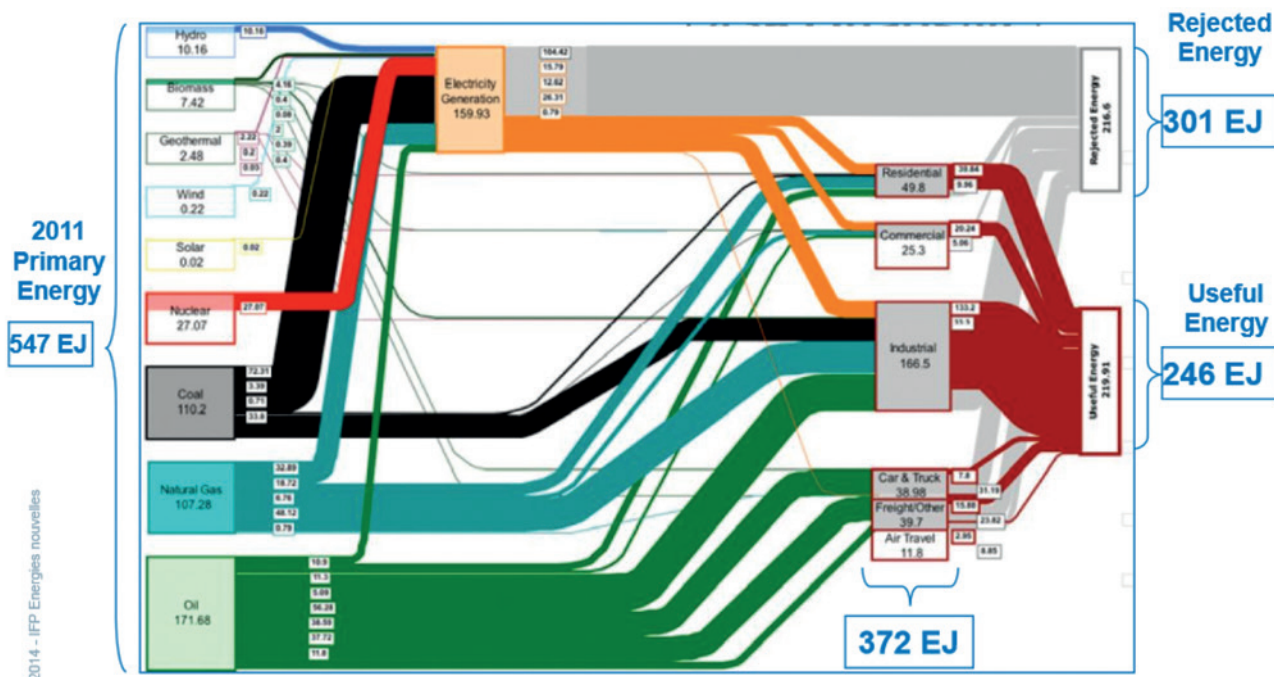
À titre d'introduction, le diagramme de flux (voir le Graphique 3 ci-dessous), présenté par Olivier Appert en ouverture de son exposé, illustre de manière très visuelle la répartition des sources d'énergie et de la consommation finale. Au total, 547 exajoules (EJ) (1 EJ = 10¹⁸ joules ou 1 milliard de milliards de joules) ont été produits en 2011 : 301 EJ ont été rejetés directement dans l'environnement⁽¹⁾, et 246 EJ ont été utilisés. On observe de manière particulièrement évidente la part importante des énergies fossiles dans le mix énergétique mondial, ainsi que leur caractère très difficilement substituable, ou en tout cas leur part ultra-majoritaire dans certaines utilisations finales

clés (industrie et transports, notamment).

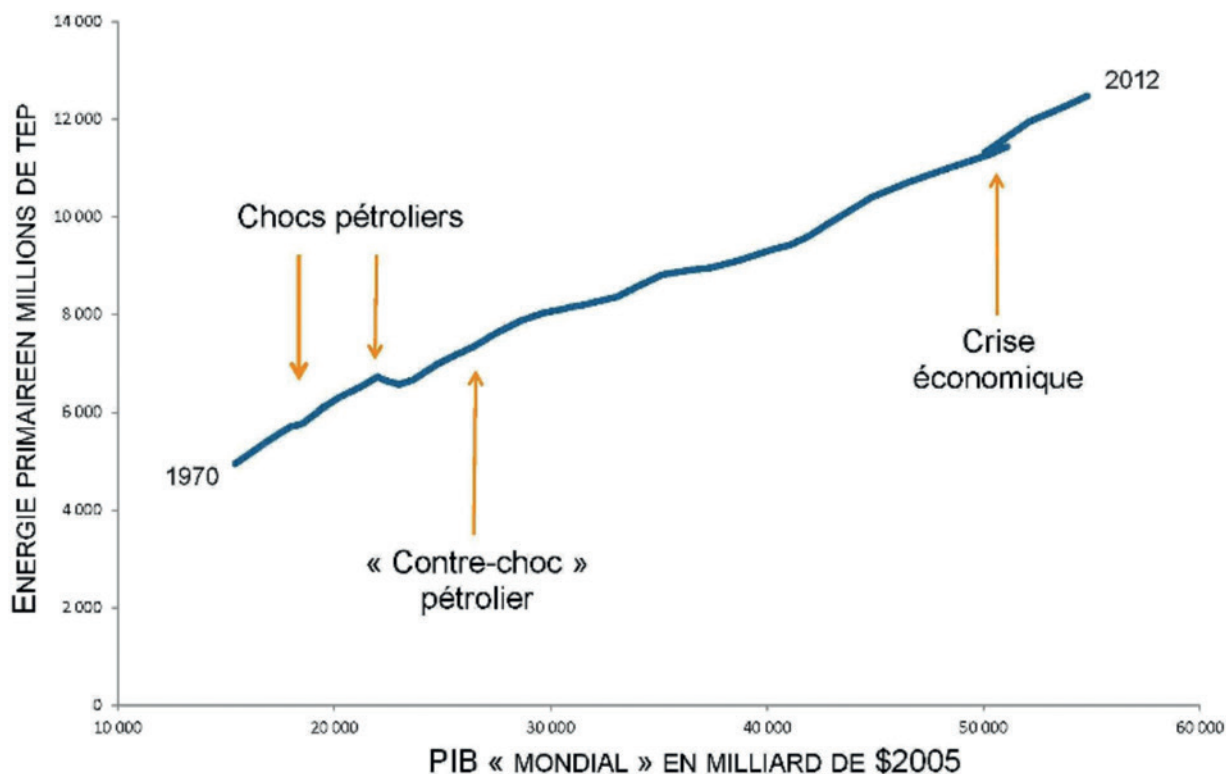
Comme permet de l'observer le Graphique 4 de la page suivante, la consommation d'énergie primaire est en outre très corrélée au PIB mondial. La seule période où le PIB mondial et l'énergie primaire n'ont pas été positivement corrélés se situe dans les années ayant suivi le second choc pétrolier, cette dé-corrélation trouvant notamment son origine dans les efforts menés à cette époque pour réduire le gaspillage énergétique et développer certaines filières de production d'énergie. Mais depuis le contre-choc pétrolier des années 1980, le coefficient de corrélation entre PIB mondial et consommation d'énergie primaire a très peu évolué. Ce constat ne peut qu'amener à être prudents sur l'ampleur des résultats qui peuvent être attendus des efforts en matière d'efficacité énergétique. En raison notamment de l'effet rebond, ceux-ci ne peuvent constituer une solution à eux seuls, sauf à changer radicalement de paradigme en consentant à une décroissance économique qui ne fait pas consensus politiquement ou socialement.

On peut également noter que de 1965 à 2010, le mix de la production d'énergie primaire mondiale est resté largement dominé par les énergies fossiles : les évolutions principales ont eu lieu entre 1970 et 1990, surtout en faveur du nucléaire, mais depuis 1990 il n'y a pas eu de tendance significative à une décarbonation du système énergétique mondial. Une analyse complète du mix énergétique primaire mondial doit aller au-delà du seul secteur de la production électrique, qui est en pratique un des secteurs les plus décarbonés, pour s'intéresser notamment aux consommations énergétiques de l'industrie et des transports, qui sont, elles, peu décarbonées.

(1) Rendement de Carnot dans les machines dithermes.



Graphique 3 : Diagramme de flux de la production et de la consommation d'énergie primaire mondiale – 2011.



Graphique 4 : Relation entre PIB Mondial et consommation d'énergie primaire (en MTEP).

Les projections actuelles du scénario « nouvelles politiques » de l'AIE WEO 2014 envisagent une poursuite de la croissance de la demande d'énergie primaire corrélée à la croissance économique, et celle-ci devrait atteindre 18 000 EJ en 2040. La part du charbon pourrait continuer à croître, mais dans ce scénario, il est prévu par les experts que les énergies décarbonées passent de 19 à 25 % du mix entre 1990 et 2040. L'ampleur des efforts à mettre en œuvre apparaît ici clairement, à mon sens, et l'on comprend donc aisément que c'est un large éventail de technologies qui sera nécessaire pour réduire significativement les émissions, en jouant certes sur les économies d'énergie, mais également sur la mise en valeur des sources les moins spécifiquement émettrices de GES.

Si, reprenant le fil de l'exposé d'Olivier Appert, nous nous penchons sur les pistes technologiques envisageables, le SET Plan de l'Union européenne examine diverses pistes technologiques en plusieurs vagues successives : certaines se trouvent du côté de la demande (efficacité énergétique dans le bâtiment et dans les transports), d'autres du côté de l'offre (capture et stockage de carbone en seconde vague), et d'autres encore du côté du secteur des transports (voiture à hydrogène). Il m'apparaît intéressant de noter que ce plan datant de 2008 laissait de côté la perspective du développement de solutions de stockage à grande échelle de l'électricité : de telles technologies permettraient tant de contribuer à la décarbonation du secteur des transports que de participer au fonctionnement harmonieux de réseaux électriques accueillant une part croissante d'énergies renouvelables à la production intermittente. Il y a là aujourd'hui un goulet d'étranglement technologique majeur.

Le développement des productions renouvelables d'électricité a été particulièrement impressionnant au cours de la dernière décennie, mais il a été alimenté par des politiques publiques de subventionnement volontaristes, comme l'a rappelé Olivier Appert. En 2012, par exemple, ce sont 17 milliards de dollars de subventions⁽¹²⁾ qui ont été versés en Allemagne pour appuyer le déploiement du solaire photovoltaïque, de l'éolien et de la biomasse, avec un effet global limité sur les émissions en raison du recours corrélatif au charbon : si, de 2010 à 2013, la part du nucléaire dans la production d'électricité est passée de 22 à 15 % et la part des renouvelables de 16 à 23 %, la part du lignite est, pour la première fois depuis 2005, repassée au-dessus des 25 %. Le recours à des énergies fossiles ou à la biomasse en accompagnement du déploiement des énergies renouvelables est nécessaire pour assurer le maintien de l'équilibre offre/demande sur le réseau électrique en temps réel, compte tenu de l'intermittence de la plupart des sources renouvelables, en particulier de l'éolien. Il faut être capable de garantir l'injection d'un certain niveau de puissance électrique sur le réseau si le vent ne souffle pas : des centrales thermiques capables d'être rapidement mobilisées (turbines à gaz, voire groupes diesel en cas d'extrême pointe) doivent être mises en place, dans l'attente de nouvelles technologies de stockage permettant une réinjection rapide d'électricité dans le réseau. Sauf à développer massivement la production de biogaz, ces équipements entraînent mécaniquement des émissions

(12) « Allemagne : une transition énergétique bien peu écologique », Les Echos, Rémy Prudhomme, 21 août 2013.

significatives de gaz à effet de serre. Dans un contexte de compétition internationale exacerbée et d'austérité budgétaire (ou en tout cas d'endettement important) des grandes économies industrialisées, le volontarisme de ces politiques publiques de développement des énergies renouvelables pourrait se voir remis en cause.

Plusieurs pistes technologiques peuvent être envisagées pour le secteur clé du stockage d'énergie sous des formes facilement réinjectables dans le réseau électrique, selon la forme d'énergie stockée et la durée dans laquelle l'énergie stockée doit être mobilisée, ainsi qu'en fonction de l'objectif visé : apporter durablement de l'énergie au réseau ou, au contraire, répondre à de brefs appels de puissance. On peut citer, par capacité et temps de décharge croissant, les super-capacitances, le stockage par volant d'inertie, les batteries, l'hydrogène, le CAES, la chaleur et les centrales de pompage/turbinage. Certaines de ces technologies sont tout à fait matures et déjà mises en œuvre (comme le pompage/turbinage) alors que d'autres sont encore expérimentales (stockage à grande échelle d'énergie sous forme d'hydrogène).

Enfin, les progrès technologiques seront d'une importance cruciale pour la participation du secteur des trans-

ports à la décarbonation du mix énergétique primaire mondial : en attendant l'arrivée à grande échelle de véhicules électriques d'un prix abordable et d'une autonomie comparable à celle des véhicules à combustibles fossiles, ou bien de véhicules dotés de piles à combustible à hydrogène, beaucoup de progrès peuvent être faits sur les technologies existantes : hybridation et petite électrification (*start and stop*) ou amélioration des moteurs thermiques. Allant de 20 % (dans le cas de moteurs à essence traditionnels) à 50 % (dans le cas de moteurs hybrides), des gains d'efficacité énergétique peuvent également être mobilisés en jouant tant sur des éléments non moteurs (aérodynamique, résistance au roulement notamment dans les pneumatiques, réduction du poids des véhicules, gestion énergétique à l'intérieur du véhicule) que sur les éléments moteurs.

En conclusion rapide de ce chapitre, je soulignerai qu'au regard des éléments présentés lors du colloque, la forte corrélation observée entre demande d'énergie primaire et population et PIB ne semble pas près de s'inverser. L'ensemble des technologies susceptibles de contribuer à la décarbonation du mix énergétique mondial (efficacité énergétique, captage et stockage du CO₂ (CCS), nucléaire de génération 3+ puis 4, énergies renouvelables



Photo © Paul Langrock/ZENIT-LAIF-REA

Centrale pilote E.on "power to gas". L'hydrogène produit par électrolyse est traité ensuite comme du gaz naturel pour produire chaleur et électricité, Falkenhagen (Allemagne), août 2014.

« Plusieurs pistes technologiques peuvent être envisagées pour le secteur clé du stockage d'énergie sous des formes facilement réinjectables dans le réseau électrique. On peut citer, par capacité et temps de décharge croissant, les super-capacitances, le stockage par volant d'inertie, les batteries, l'hydrogène, le CAES, la chaleur et les centrales de pompage/turbinage. »

combinées à des technologies de stockage, etc.) devra être mobilisé pour permettre, conjointement à un effort particulièrement vif d'efficacité énergétique, de répondre à l'impératif de réduction des émissions de GES. L'émergence à grande échelle de différentes pistes technologiques prendra encore un certain temps, pendant lequel les sources fossiles resteront incontournables. Je ne peux m'empêcher d'avoir à l'esprit le fait qu'en matière de technologies de maîtrise de l'énergie ou de mobilité, celles-ci sont bien souvent adoptées dans un temps long : le fait qu'une part importante des transports ait encore été à traction animale au cours des 40 années qui ont suivi le lancement de la Ford T, y compris en Europe occidentale, ne manque pas de nous inviter à une certaine prudence quant au déploiement rapide de nouvelles technologies...

Trois exemples concrets de filières susceptibles de mener des actions de gestion du cycle du carbone

Suite à l'exposé contextuel ci-dessus, je me pencherai, à partir des trois tables rondes de la deuxième partie du colloque, sur trois exemples concrets de filières où des investissements ciblés dans des évolutions des pratiques de production ou dans des équipements spécifiques permettent d'agir sur les cycles du carbone et de l'azote pour maîtriser les concentrations atmosphériques des gaz à effet de serre, et donc les modifications futures du climat, que ce soit en réduisant à la source les émissions ou en jouant sur les volumes de carbone et d'azote stockés dans les phases non-atmosphériques des cycles de ces gaz.

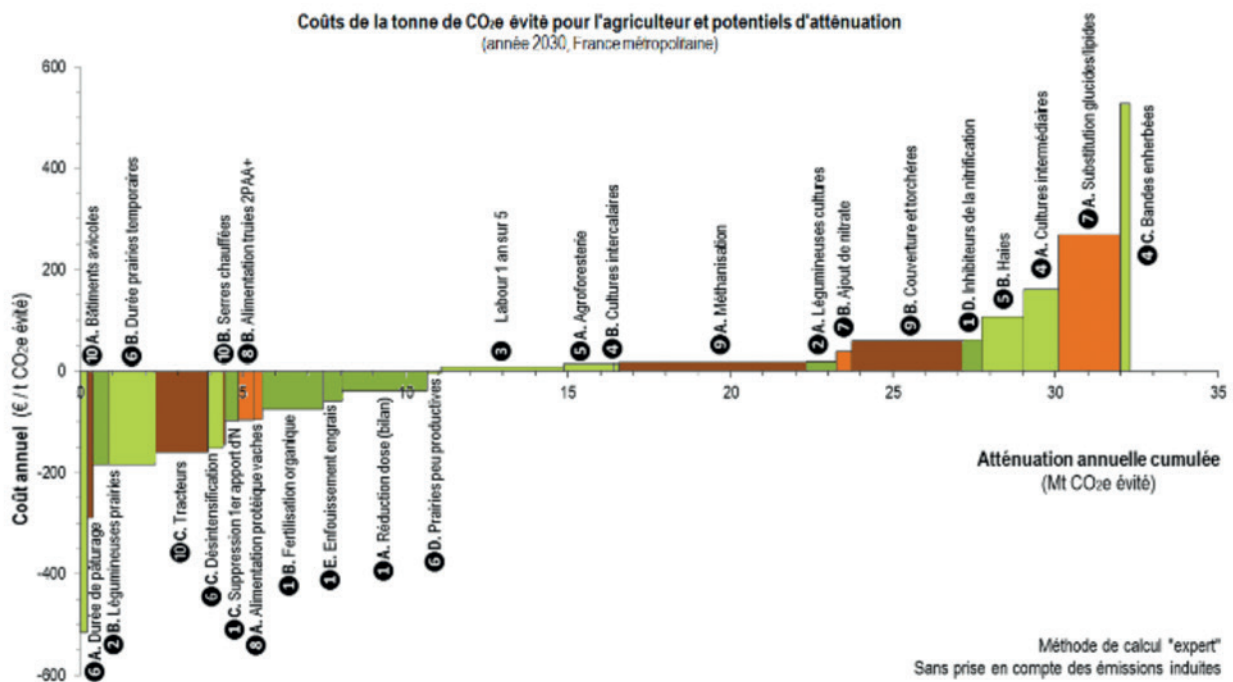
Sols, agriculture, élevage et sécurité alimentaire

L'agriculture, l'exploitation forestière et l'élevage (encore appelés le « secteur des terres »), thèmes de la première table ronde pilotée par Guillaume Benoit (Conseil général

de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces ruraux - CGAAER), sont susceptibles d'être émetteurs de gaz à effet de serre. Par rapport à d'autres activités anthropiques, ces activités ont la particularité de générer, outre des émissions de dioxyde de carbone, d'autres gaz, dans des volumes comparativement importants, dont l'effet de serre est comparativement encore plus important (méthane généré notamment par l'élevage de ruminants et la culture du riz, protoxyde d'azote généré par l'emploi d'engrais azotés, etc.). En première analyse, ces activités offrent d'importantes marges de progression dans la réduction de leurs émissions de GES, qui peuvent être réalisées sans avoir recours à des sauts technologiques, mais plutôt grâce à une évolution des pratiques et des techniques agricoles et pastorales, et par une gestion différente des sols jouant plus finement sur les cycles du carbone et de l'azote, comme l'illustre l'exposé de J.-F. Soussana. Ces actions présentent en outre l'avantage de se conjuguer bien souvent avec des économies (d'engrais azotés synthétiques et de carburants notamment), ou avec des gains de productivité qui en couvrent largement les coûts. À titre d'exemple, je citerai les estimations faites dans le rapport *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre* réalisé par l'INRA pour l'ADEME, le MAAF et le MEDDE en juillet 2013, qui identifie des réductions potentielles d'émissions pour dix grandes actions à réaliser dans l'agriculture française d'ici à 2030.

On note qu'environ 11 millions de tonnes (Mt) d'équivalent CO₂ peuvent être évitées annuellement pour un coût négatif ou nul, auxquelles s'ajoutent environ 13 Mt à des

(13) *Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre ?*, rapport réalisé par l'INRA pour l'ADEME, le MAAF et le MEDDE en juillet 2013.



Graphique 5 : Courbe montrant le coût croissant des atténuations annuelles cumulées identifiées pour dix actions clés ⁽¹³⁾.

coûts inférieurs à 50€/t de CO₂ évité, et ce en travaillant sur la gestion des sols et des pâturages (gestion améliorée des prairies, labours moins fréquents, plantation de légumineuses permettant de fixer de l'azote dans les sols, etc.), sur l'alimentation animale et sur les pratiques (économies d'énergie sur les équipements agricoles, optimisation de l'utilisation des engrais, etc.)

En outre, les sols, notamment agricoles, assurent une fonction très importante de rétention du carbone, avec des concentrations de l'ordre de trois fois supérieures à celles présentes dans l'atmosphère⁽¹⁴⁾, et des techniques déjà maîtrisées permettent de jouer sur ce paramètre. Les 830 Gt de carbone présentes dans l'atmosphère peuvent être comparées aux 820 Gt de carbone stockées dans les 40 premiers centimètres de sol à la surface de notre planète : une augmentation annuelle de 4 pour 1 000 des stocks de matière organique dans les sols permettrait de compenser annuellement 3,5 Gt sur les 8,9 Gt de carbone fossile émis chaque année, et de ramener les émissions de GES à un niveau acceptable. C'est dans cet esprit qu'a été mis en place un programme de recherche agronomique international, le « 4 pour 1 000 », annoncé par M. Stéphane Le Foll, ministre de l'Agriculture, le 17 mars 2015 dernier.

Les principales pistes de recherche pour parvenir à cet objectif sont le développement d'une agriculture dite de conservation : celle-ci viserait à minimiser le travail du sol, à en maintenir une couverture permanente et à diversifier autant que possible les espèces cultivées dans l'espace et dans le temps. Un bon exemple de pratiques d'agriculture de conservation est la mise en œuvre des techniques de SBLRPP (*Sown Biodiverse Legume Rich Permanent Pastures*) expérimentées au Portugal, en Italie et en Espagne dans des zones de climat méditerranéen particulièrement exposées au changement climatique (écosystèmes de type *montado* ou *dehesa*). Cette technique, qui a été présentée dans l'exposé de David Crespo, consiste, pour les pâturages, à mettre en culture sur le même terrain des mélanges de légumineuses et d'herbes très biodiverses, en sélectionnant préférentiellement des essences locales ayant des pouvoirs méthanogènes réduits et permettant d'améliorer substantiellement la productivité des pâturages, leur persistance, la séquestration de carbone (environ 4,5 à 18 tonnes de dioxyde de carbone atmosphérique stocké) et la fixation d'azote en jouant sur des symbioses entre légumineuses ensemencées et des rhizobiums. Cette diversification des pâturages permet également une amélioration de la productivité et de la qualité des productions animales élevées sur ces terrains, et de réduire les importations d'aliments pour animaux, souvent coûteuses en carbone.

À cet effort d'évolution des pratiques peut venir s'ajouter le déploiement de nouvelles technologies, comme celles développées par le réseau *Climate Smart Agriculture Booster*, lancé en janvier 2015 avec l'appui du programme européen *Climate KIC*, que Jean-François Soussana a évoqué dans son exposé. Ces technologies, qui peuvent être globalement regroupées sous la désignation de *smart agriculture*, visent à mettre à profit les technologies de

l'information pour la collecte et l'exploitation à grande échelle de données sur les espaces agricoles et les cultures en vue de développer notamment des dispositifs de cartographie et de suivi très précis des concentrations d'intrants à délivrer ou des modes d'irrigation, permettant d'importantes économies d'émissions de GES.

L'agriculture et l'élevage présentent donc, au vu des exposés du colloque, des spécificités qui les mettent au cœur des transitions à accomplir pour atténuer et accompagner le changement climatique : les techniques et les évolutions de pratiques à mettre en œuvre ont la particularité d'y permettre souvent des gains de productivité et de réduire les émissions des activités agricoles, tout en les rendant plus capables de maintenir un niveau élevé de rendement, et ce malgré le changement climatique (épisodes climatiques extrêmes plus fréquents, moyennes de températures plus élevées, etc.). Une véritable prise de conscience du rôle fondamental que peuvent jouer les stockages de carbone par les sols et des bénéfices qui peuvent résulter d'un suivi des concentrations en carbone organique dans les sols pour la profession agricole jouera un rôle essentiel dans le développement de ces nouvelles techniques.

La forêt et l'industrie du bois

Un autre champ d'action important pour l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre (principalement du dioxyde de carbone) et pour améliorer la capture et le stockage du carbone atmosphérique est l'adaptation du secteur de l'exploitation forestière évoquée dans la seconde table ronde de l'après-midi. Comme l'a rappelé Jean-Luc Peyron en introduction à la table ronde, la forêt exerce sur le climat des influences multiples : en modifiant la réflexion de la lumière solaire (effet d'albédo), en modifiant l'hygrométrie (évapotranspiration des végétaux), en stockant du carbone *via* la photosynthèse, et également *via* l'émission de composés organiques volatils, notamment non méthaniques, ainsi que par l'émission de méthane (dégradation en milieu peu oxygéné de matières végétales). L'ensemble de la filière forêt-bois apporte donc des contributions multiples au bilan carbone : *via* des effets de substitution (occupation des sols, production d'énergie, etc.) et *via* des effets de stockage de carbone (utilisation du bois comme matériau de construction, stockage de carbone en forêt dans les sols, le bois mort, le sous-bois, les feuilles et la matière ligneuse).

Il convient ici de revenir sur les éléments de diagnostic de la forêt française qu'a présentés Antoine Colin et de rappeler que le secteur forestier en France représente, avec 16 millions d'hectares de forêt en métropole, la troisième surface forestière en Europe, et qu'il fournit dans l'ensemble de la filière forêt-bois près de 450 000 emplois : la forêt française produit chaque année 100 millions de mètres cubes (Mm³) de biomasse bois, dont seulement 60 % sont récoltés, et séquestre chaque année 80 millions de tonnes nettes de CO₂, soit l'équivalent annuel de

(14) UNEP, FAO, JRC 2010.

réduction des émissions de la France au titre du Protocole de Kyoto (dans la première période d'engagement 2008/2012).

La forêt française est donc actuellement un très important puits de carbone. Il s'agit de forêts jeunes et en expansion : depuis 1908, la superficie boisée française s'est accrue de 6 millions d'hectares et, dans l'ensemble, la part des gros et très gros bois a elle aussi progressé peu à peu, passant de 20 à 25 % entre 1980 et 2015 ⁽¹⁵⁾, dans un contexte de réduction des petits bois et des taillis.

Dans l'ensemble, et en dépit des tempêtes catastrophiques de 1999 et de 2009, le stock forestier sur pied s'est donc accru d'environ 810 millions de mètres cubes ⁽¹⁶⁾. Toutefois il convient de noter que les régions où les stocks se constituent (Massif Central, pourtour méditerranéen, Bretagne) ne sont souvent pas les régions où les prélè-



Photo © Benoit Decout/REA

Stock de copeaux de bois à la chaufferie biomasse de Saint-Étienne-du-Rouvray (Normandie), mai 2010.

« Des progrès importants sont donc réalisables en mettant davantage à profit la filière bois : en combinant les substitutions matériau et énergie, en recherchant des pratiques sylvicoles réduisant la dette carbone en visant à maintenir le stock de carbone forestier à court terme et en améliorant le bilan de long terme (stockage *in fine* de carbone dans les sols), il paraît possible d'avoir un impact important sur les émissions de gaz à effet de serre de notre pays. »

vements sont les plus importants (Landes, Vosges). Il faut donc bien s'attacher à analyser la dynamique du massif forestier français et ses conséquences en termes de bilan carbone. Une étude, commandée en 2014 à l'IGN et au CITEPA ⁽¹⁷⁾, a envisagé deux scénarios : d'une part, le maintien des taux de coupe actuels et, d'autre part, une gestion dynamisée des massifs forestiers, qui viendrait accroître les prélèvements de 35 millions de mètres cubes par an à l'horizon 2030, en les réalisant de manière homogène sur le parc forestier (y compris les 80 % de forêts privées actuellement peu mobilisées, et en supposant l'absence d'aléas climatiques exceptionnels ou d'effets particuliers du réchauffement climatique). Cette étude montre qu'une hausse substantielle des prélèvements (correspondant au second scénario) serait compatible avec une séquestration à court terme de carbone tout en permettant d'adapter les forêts aux futures évolutions du climat et d'atténuer, grâce aux produits de la filière forêt-bois, les émissions carbonées nationales (effets de substitution de combustibles fossiles par la biomasse, notamment). À plus long terme, le maintien du rôle essentiel de puits de carbone joué par les forêts françaises supposera de toute façon une évolution des pratiques de coupe et une approche intégrée forêt-bois, plutôt que de chercher à surcapitaliser en forêt : une augmentation de la production de bois est tout à fait compatible avec cet objectif d'évolution des massifs et d'adaptation au changement climatique.

Au vu des exposés de cette table ronde, des progrès importants sont donc réalisables en mettant davantage à profit la filière bois : en combinant les substitutions matériau et énergie, en recherchant des pratiques sylvicoles réduisant la dette carbone en visant à maintenir le stock de carbone forestier à court terme et en améliorant le bilan de long terme (stockage *in fine* de carbone dans les sols), il paraît possible d'avoir un impact important sur les émissions de gaz à effet de serre de notre pays. Un développement substantiel de la production de bois est même envisageable, en intégrant les conditions économiques relatives à la gestion forestière, aux marchés et à l'industrie du bois. Un tel développement ne manquera pas d'être source de création d'emplois non-délocalisables situés dans des régions rurales du pays. L'adaptation du secteur forestier au changement climatique peut donc présenter un double bénéfice : certes opportune en termes de préservation du climat et de l'environnement, elle est également source de développement industriel et d'emplois.

Séparation, séquestration et valorisation du CO₂

Comme l'observait Didier Bonijoly en ouverture de la table ronde consacrée à ces sujets, les technologies de capture et de séquestration des émissions de gaz à effet de serre (le dioxyde de carbone, le plus souvent) et de valorisation des gaz séquestrés (CCS-V) jouent un rôle majeur dans la plupart des scénarios de réduction des émissions (entre 10 et 30 % selon les scénarios).

(15) Étude IGN.

(16) Étude IGN.

(17) http://inventaire-forestier.ign.fr/spip/IMG/pdf/1_projections_GES2030_foret_IGN_resultats_biomasse_2014.pdf

Ces technologies concernent principalement l'industrie, notamment la production d'électricité. Leur mise en œuvre est susceptible de constituer une véritable rupture en termes d'émissions (en particulier pour les installations de puissance consommant du charbon), à la différence des évolutions progressives réalisables dans le monde agricole ou forestier (voir plus haut), ou encore dans le secteur des transports (une rupture pouvant toutefois résulter du développement de piles à combustible à bas coût utilisant l'hydrogène). Les potentialités tant en termes de développement économique que de réduction des émissions, et les risques tant financiers que technologiques apparaissent pour l'instant importants, faute de l'assurance d'un prix élevé du carbone (un prix situé entre 50 et 100 dollars la tonne serait nécessaire). En outre, il ne faut pas négliger les oppositions déjà exprimées aux stockages, qui ne manqueront de s'amplifier, en raison de la phobie que suscitent tous les déchets.

En matière de CCS, observait Daniel Clément, les fondamentaux techniques apparaissent aujourd'hui relativement matures et, plus qu'à la R&D fondamentale, l'heure est aujourd'hui au développement de démonstrateurs permettant de faire passer cette technologie à l'échelle industrielle. On peut distinguer deux étapes :

- la capture : dans la plupart des solutions technologiques envisagées, celle-ci se ferait en fixant le dioxyde de carbone par lavage des gaz de combustion avec des solutions alcalines ;
- le stockage : il est nécessaire de démontrer la faisabilité technique du stockage géologique à grande échelle (en particulier dans des aquifères salins) et de mener des recherches concernant les capacités de stockage en France.

À l'heure actuelle, plusieurs opérateurs ont déjà mis au point des pilotes de captage en oxycombustion, transport et stockage géologique : ainsi, Total a mis en œuvre une solution de ce type à Lacq ; après la fin des essais d'injection, le groupe est en train d'en surveiller l'exploitation. Sous réserve que l'on dispose d'un stockage géologique certain et aux risques maîtrisés à proximité (notamment un ancien gisement pétrolier où l'on souhaiterait faire de l'injection pour améliorer le taux de récupération du pétrole ou du gaz), cette technologie peut donc être considérée comme disponible. Toutefois, se pose la question de son coût. Dans le cas d'une production électrique, si l'on extrapole les chiffres du pilote de captage Alstom/Dow porté par EDF (évoqué par Valérie Czop dans son exposé) le coût du stockage se situe entre 60 et 80 euros la tonne, soit 10 fois le prix de marché actuel de quotas d'émissions : cela ne permet donc pas la faisabilité du projet. S'il est vrai qu'aux États-Unis, en mer du Nord ou en Algérie, de la réinjection de dioxyde de carbone existe, c'est toujours avec, en contrepartie financière, la récupération secondaire d'hydrocarbures, l'augmentation de la productivité du gisement parvenant à compenser le coût de cette technologie. La condition technique majeure de sa diffusion est aujourd'hui l'amélioration de la connaissance des capacités de stockage géologique à l'échelle européenne et la modélisation du comportement des dif-

férents sites possibles (aquifères salins, roches poreuses, etc.) dans le long terme. Des progrès de la connaissance en matière de risques technologiques et un encadrement réglementaire spécifique pourraient également contribuer à améliorer l'acceptabilité sociale du déploiement de ces solutions et à réduire les inquiétudes suscitées par les risques éventuels de leur mise en œuvre.

Les estimations les plus récentes estiment également que le stockage géologique du dioxyde de carbone capturé pourrait être complété par une valorisation de ce produit, jusqu'à présent traité sinon réglementairement, du moins fonctionnellement, comme un déchet dépourvu de valeur économique. Naturellement, compte tenu des volumes de production de dioxyde de carbone et des applications industrielles limitées de ce gaz, la valorisation ne pourra constituer que quelques pourcents des volumes traités, mais elle ne saurait être négligée, compte tenu de l'enjeu sociétal du développement de l'économie circulaire comme l'a souligné Anne de Béthencourt dans son exposé.

Enfin, une dernière piste, plus prospective, évoquée par François Clin et étudiée activement aux États-Unis en liaison avec des universités japonaises et suisses (et abordée récemment lors de séances publiques de l'Académie française des sciences) pourrait consister, en transposant industriellement la photosynthèse, à capturer le dioxyde de carbone non plus sur son lieu de production, mais directement dans l'atmosphère. Le processus s'apparenterait à des techniques relevant *in fine* de la géo-ingénierie : avec un coût énergétique modéré, on pourrait imaginer, par exemple, de capturer le dioxyde de carbone atmosphérique par réaction avec des lagunes artificielles de lait de chaux⁽¹⁸⁾ permettant d'envisager de constituer un puits de carbone artificiel stockant du carbonate de calcium (éventuellement valorisé par la suite en tant que craie). Selon les calculs présentés, des rendements par hectare intéressants (de l'ordre du million de tonnes de dioxyde de carbone par an) peuvent être envisagés pour des coûts énergétiques modérés. Toutefois, au regard des importants échanges avec la salle, force est de constater qu'à l'instar d'autres technologies de géo-ingénierie proches de la science-fiction (ensemencement des océans, modification locale de l'albédo terrestre), la mise en œuvre de telles solutions supposerait une adhésion renouvelée de nos sociétés à un paradigme très prométhéen de la maîtrise du climat, qui, en Europe comme ailleurs, rencontre des objections de toutes natures, en particulier éthiques.

Conclusion

Comme le constatait en conclusion Pascal Dupuis, le dérèglement climatique n'a jamais été une préoccupation aussi importante qu'aujourd'hui, à l'heure où la France représente 1 % des émissions et l'Europe 10 % (pour 20 % du PIB mondial). Toutes les solutions doivent être trouvées à l'échelle globale. Dans ce contexte, il sera crucial de trouver le bon dosage pour les politiques domestiques

(18) CLIN (F.), ex. BRGM et ministère de la Recherche.

afin que celles-ci profitent à l'activité. Dans ce cadre, l'Europe tente de porter une certaine exemplarité pour convaincre les autres d'agir : c'est l'objectif affiché pour le Paquet énergie-climat pour 2030. Dans cet ensemble réglementaire ont été prises des décisions engageant sur le climat et la croissance des États membres très différents entre eux : la capacité des pays à y participer est évaluée sur la base de leur PIB par habitant. Cette réussite en matière de négociation constitue un bel exemple à suivre pour la COP21.

La mise en place par l'Europe d'un système de *cap and trade* sur les émissions de carbone couvrant environ 5 % des émissions mondiales est également un succès prometteur : si, aujourd'hui, des imperfections dans le fonctionnement du marché donnent lieu à des niveaux de prix ne correspondant pas au coût réel des émissions carbonées, un mécanisme jouant sur les volumes de carbone sur le marché sera mis en place pour restaurer des niveaux de prix acceptables. Ce volontarisme de certains États et le fait que 40 États sur 196 (au jour du colloque) - responsables d'environ 55 % des émissions mondiales - aient formulé une proposition de contribution nationale volontaire à la réduction des émissions globales permettent de nourrir des espoirs quant au succès de la Conférence de Paris.

Le défi de l'adaptation au changement climatique peut faire appel à des solutions qui contribuent également à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre. De telles solutions devront être développées en privilégiant celles qui participent au développement économique et à l'emploi et donnent une valorisation économique aux réductions d'émissions ou aux émissions capturées et stockées. À ce titre, le dioxyde de carbone a naturelle-

ment vocation à être considéré comme une ressource, et, plus généralement, les réductions d'émissions devraient trouver une valorisation de marché directement ou indirectement en tant que facteur de productivité : les trois exemples de champ d'action décrits ci-dessus en donnent une bonne illustration. Il appartiendra pour ce faire aux États de fixer un prix du carbone qui corresponde à une évaluation réaliste de l'externalité négative du carbone émis et d'imposer ce prix par des mécanismes aussi *market-based* que possible, car c'est là un préalable à toute approche rationnelle du problème et au démarrage d'investissements de grande ampleur : cela supposera une volonté de mettre en place les outils de régulation financière correspondants.

La contribution française aux réductions d'émissions de gaz à effet de serre pourra donc mettre utilement à profit, comme nous l'avons illustré par les exemples des champs d'action détaillés ci-dessus, des solutions plus ou moins sophistiquées reposant sur une évolution culturelle de certaines professions et sur les techniques numériques appliquées aux réseaux et aux échanges, en faisant non seulement évoluer son appareil industriel vers des dispositifs moins carbonés et plus efficaces, parfois dotés de moyens de capture et de stockage de carbone, mais également en assurant la transition du monde agricole et sylvicole vers des pratiques moins intensives et plus soucieuses de préserver et de développer les stocks de carbone et d'azote des sols et des forêts, et ainsi plus productives. La transition énergétique et climatique se situe en réalité là où on ne l'attend pas, et seule une bonne conduite des évolutions de ces filières permettra d'assurer l'adaptation de l'appareil productif au changement climatique vers un modèle créateur d'emplois et source de développement pour nos territoires



CMI INDUSTRY
Environment

Energy Efficiency

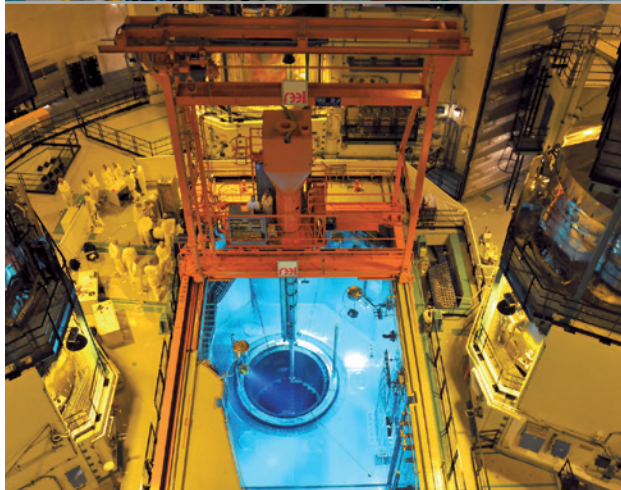


La conception industrielle à
Haute Performance Energétique :
**répondre aux enjeux
d'aujourd'hui et de demain**



energy.efficiency@cmigroupe.com
Tél . : +33 (0)1 30 45 90 70
WWW.CMIGROUPE.COM

Cockerill Maintenance & Ingénierie



En s'appuyant sur près de 70 ans d'expérience dans la manutention et le levage, RÉEL développe, construit, installe et maintient des systèmes complexes de manutention. Ces systèmes sont au cœur des processus industriels de ses clients, partout dans le monde, en particulier dans les domaines de l'énergie (nucléaire et hydroélectrique), de l'aéronautique/aéroportuaire, de la métallurgie, de la défense et de l'offshore.

Dans l'Énergie nucléaire, RÉEL intervient sur toutes les étapes clé du cycle du combustible. Les équipements sont conçus et réalisés pour répondre aux exigences les plus extrêmes en matière de sûreté de fonctionnement, tout en assurant des performances en exploitation élevées. En France, RÉEL est un fournisseur d'équipements et de services sur l'ensemble du parc EDF de centrales nucléaires et sur le parc AREVA, CEA et ANDRA, des installations amont et aval du cycle. De ce fait, RÉEL détient une expérience unique qu'il propose aux exploitants dans les pays comme la Chine, la Corée, la Finlande, la Suisse, l'Allemagne et la Grande-Bretagne, ainsi que sur les futurs programmes nucléaires en Arabie Saoudite, Inde, Pologne, Afrique du Sud ou Turquie, entre autres.

www.reel.fr

> **PMC : pont perche du bâtiment combustible en montage sur site**
EPR Flamanville 3 - France

> **PMC : machine de chargement du premier CPR1000**
Ling Ao 3&4 en 2010 - Chine



**Systèmes
de manutention
et levage**

Bilan énergétique de la France pour 2014

Sous-direction des statistiques de l'énergie, CGDD, MEDDE

Il est essentiel de disposer de statistiques détaillées, complètes, ponctuelles et fiables pour pouvoir gérer la situation énergétique, tant à l'échelon national qu'à l'échelon international.

Le bilan énergétique de la France, qui vise à répondre à ce besoin, est l'une des publications phares du Service de l'observation et des statistiques (SOeS) dans le domaine de l'énergie.

Les bilans énergétiques nationaux sont élaborés selon des normes standardisées et harmonisées, définies par l'ensemble des organisations internationales, telles que l'Agence internationale de l'énergie et l'Organisation des Nations Unies, et par des ensembles régionaux comme l'Union européenne.

Avec l'adoption de la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte, qui fixe les grandes orientations choisies par la France pour les années à venir, et avant le grand rendez-vous que constitue l'organisation de la 21^{ème} conférence des parties de la convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques qui se tiendra à Paris en fin d'année 2015, il est particulièrement précieux de pouvoir ainsi comparer la situation de la France à celle de ses partenaires mondiaux.

Le bilan de l'énergie est un outil de présentation synthétique des flux des différents produits énergétiques d'un pays donné pour une année donnée. Il met en cohérence les statistiques portant sur tous les flux énergétiques : l'approvisionnement national, l'activité de transformation de l'énergie, la consommation finale de l'énergie aussi bien en ce qui concerne les activités énergétiques que les activités non énergétiques. Il présente et analyse l'ensemble des flux d'énergie produits, importés, transformés, consommés ou exportés par notre pays tout au long de l'année écoulée (2014).

Présentés sous la forme d'un tableau comptable, les chiffres donnent une vision immédiate et claire du circuit d'approvisionnement et d'utilisation par secteur de chaque source d'énergie : charbon, pétrole, gaz, électricité, énergies renouvelables thermiques et déchets. Sur le plan du concept, les approvisionnements doivent, une fois additionnés, correspondre au total des emplois. C'est une équation comptable.

Le bilan énergétique permet en outre de calculer des indicateurs variés, tels que l'efficacité énergétique et la dépendance vis-à-vis des autres pays en matière d'approvisionnement, et de fournir des données pour évaluer

le plus en amont possible les émissions de dioxyde de carbone de notre pays.

Ce bilan est donc un outil indispensable pour l'élaboration par la France de ses politiques et stratégies dans le domaine de l'énergie. Ce n'est donc pas un hasard si, dès l'après-guerre, le Commissariat général au Plan a procédé à l'élaboration de ce qui allait devenir avec le temps le bilan de l'énergie tel que nous le connaissons aujourd'hui.

Existant sous sa forme actuelle depuis 1982, le bilan énergétique de la France fait chaque année l'objet d'enrichissements et de perfectionnements méthodologiques destinés à en accroître l'utilité et la lisibilité. Cette année, l'amélioration majeure réside dans l'établissement de nouveaux bilans énergétiques intéressant l'outre-mer, ils concernent la filière *renouvelables thermiques et déchets*. Le bilan 2014 s'enrichit également de la cartographie des réseaux et des principales centrales de production.

Comme l'année dernière, les *Annales des Mines* ont fait le choix de ne reproduire dans ce numéro de *Responsabilité et environnement* que quelques éléments (la synthèse et les parties I « Contexte économique, social et climatique » et II « Poids de l'énergie dans l'économie et la société en 2014 ») de cette volumineuse référence statistique (de près de 160 pages) qu'est le bilan de l'énergie 2014.

Un bilan qui est consultable sur le site du ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, à l'adresse suivante :

http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/fileadmin/documents/Produits_editoriaux/Publications/References/2015/ref-bilan-energie-2014-juillet2015-b.pdf

Synthèse

En 2014, l'activité économique mondiale a augmenté au même rythme qu'en 2013 (+ 3,4 %). Cette apparente stabilité masque des évolutions différentes. La situation économique s'est en effet nettement améliorée dans les pays développés, avec notamment un raffermissement de la croissance américaine, mais surtout la sortie de récession de la zone euro. C'est particulièrement vrai en Espagne et en Allemagne, moins en France où la croissance reste atone (+ 0,2 % en 2014, après + 0,7 % en 2013). *A contrario*, même si elle reste supérieure à celle des pays développés, la croissance a ralenti dans les pays émergents et dans les pays en développement.

Dans ce contexte, la demande mondiale de pétrole a aug-

menté, mais moins rapidement (+ 0,7 %, soit à un rythme deux fois moins élevé que les deux années précédentes). Elle est portée par les besoins des pays émergents, la demande des pays développés ayant, quant à elle, fortement diminué. L'offre a au contraire bondi de 2,3 % par rapport à 2013 et elle est supérieure à la demande mondiale d'un million de barils par jour en 2014. Ce surplus a entraîné la baisse des cours internationaux. Le prix du baril de Brent daté a reculé de près de 9 % par rapport à 2013, passant sous la barre symbolique des 100 dollars en moyenne sur l'année 2014. En Europe, les prix des autres énergies ont tous diminué en 2014. Ainsi, le prix de référence du gaz naturel à Londres a baissé de 23 %, après quatre années successives de hausse. Celui de l'électricité a enregistré, sur la principale place boursière européenne, un repli de près de 20 %. Enfin, pour le charbon, le marché mondial est lui aussi resté excédentaire, entraînant une baisse des prix de 8 % sur le principal marché spot européen.

Conséquence de ce repli des prix internationaux et européens, les prix à la consommation de l'énergie ont diminué en France (- 0,9 %), et ce pour la première fois depuis la crise économique et financière de 2009. Dans le sillage des cours du pétrole brut et des prix des produits pétroliers raffinés, le prix des carburants a baissé de 4,1 % en 2014. Le prix du gaz s'est légèrement replié, pour la première fois depuis cinq ans. Le prix de l'électricité a en revanche continué à augmenter, de près de 6 % en 2014, une hausse à peine inférieure à celle de 2013. Le prix de l'énergie utilisée pour le logement a finalement augmenté de 2 %.

Ces évolutions ont eu des répercussions positives sur le budget des Français. En 2014, la dépense courante annuelle moyenne en énergie d'un ménage passe ainsi sous la barre des 3 000 euros, soit un reflux de plus de 7 % par rapport au pic de 2013. La baisse des prix se traduit par une diminution de la facture en carburants de 60 euros sur l'année. Les dépenses d'énergie dans le logement chutent, quant à elles, de près de 11 %, en raison de la douceur exceptionnelle des températures hivernales, qui ont permis de contrebalancer l'impact négatif qu'aurait pu avoir la poursuite de la hausse des prix de l'électricité ; ces dépenses s'allègent ainsi de près de 180 euros en 2014.

L'année 2014 a en effet battu des records en matière de température dans le monde, et notamment en France, où la température a été en moyenne supérieure de 1,5°C à celle de la période de référence (1981-2010) et à celle de 2013 ; 2014 devient ainsi l'année la plus chaude depuis 1900, devant 2011, qui était le précédent record. Les températures ont été particulièrement douces pendant la saison de chauffe (de janvier à avril, ainsi qu'en octobre et novembre), les températures moyennes ont été supérieures de 2 à 3°C par rapport aux normales saisonnières. Cette douceur exceptionnelle s'est traduite concrètement par des besoins en chauffage inférieurs de 7 millions de tonnes équivalent pétrole (Mtep) par rapport à ceux d'une année moyenne de la période de référence – soit 10 Mtep de moins qu'en 2013 où l'hiver avait été rigoureux.

Le déficit des échanges physiques d'énergie s'en est trouvé réduit d'autant, se situant à moins de 114 Mtep, soit

son niveau le plus bas depuis 1988. En particulier, les importations se sont nettement contractées, passant sous la barre des 150 Mtep pour la première fois depuis 1995. Les imports ont diminué dans des proportions proches pour presque tous les produits énergétiques, exception faite des produits pétroliers raffinés. Baisse des cours internationaux et moindres importations physiques se sont conjuguées pour alléger la facture énergétique de la France. En 2014, le solde des échanges extérieurs de produits énergétiques recule de 17 % par rapport à 2013 et s'établit à un peu moins de 55 milliards d'euros (Md€). La chute de la facture gazière (environ 10 Md€ en 2014) est particulièrement spectaculaire, avec - 27 %. La facture charbonnière diminue, quant à elle, de plus d'un quart, à 1,4 Md€. Enfin, le déficit du commerce extérieur des produits pétroliers s'établit à 45 Md€, soit une baisse de près de 13 %, résultant notamment d'une baisse du prix du pétrole brut. Les exportations d'électricité, en hausse de 19 % par rapport à 2013, ont elles aussi contribué à la réduction du déficit.

Si le déficit des échanges physiques d'énergie s'est réduit, c'est dû, pour beaucoup, à la forte diminution des besoins énergétiques de la France en 2014. La consommation d'énergie primaire réelle passe sous la barre symbolique des 250 Mtep, un plancher qu'elle n'avait pas franchi depuis 1995, diminuant de 10 Mtep par rapport à 2013. Cette nette baisse (près de - 4 % en un an) s'explique, en grande partie, par la douceur des températures. Néanmoins, même en corrigeant l'effet de ces variations climatiques, la consommation d'énergie primaire poursuit sur une tendance de fond orientée à la baisse qui semble remonter à 2005, elle n'a été perturbée que par la chute due à la crise économique et financière mondiale de 2008 et par le rebond qui a suivi. En une dizaine d'années, la consommation d'énergie primaire corrigée des variations climatiques est ainsi passée de 275 Mtep (son maximum) à 257 Mtep, soit - 2 Mtep par an, et ce malgré le redressement de la consommation finale non énergétique (+ 4 %, à 14 Mtep), qui retrouve ainsi son niveau post-crise 2009.

En effet, la consommation finale énergétique a baissé de 1 Mtep par rapport à 2013, pour atteindre 150 Mtep (en données corrigées des variations climatiques). Il faut remonter à 1996 pour trouver un niveau aussi bas. L'essentiel de la baisse est imputable au secteur résidentiel : à moins de 46 Mtep, sa consommation finale diminue de 1,2 %. Une consommation finale qui s'effrite également dans l'industrie et le tertiaire, sensiblement au même rythme (respectivement 29 et 22 Mtep). *A contrario*, elle réaugmente très légèrement dans les transports (premier secteur consommateur) à 49 Mtep.

Avec 139 Mtep, la production nationale d'énergie primaire augmente d'un peu plus de 1 Mtep par rapport à 2013, elle établit ainsi un nouveau record. Les centrales nucléaires y ont contribué en assurant une production d'électricité supérieure de 3 Mtep à celle de 2013. Avec un peu moins de 114 Mtep en 2014, leur production reste néanmoins assez loin des 118 Mtep, le record absolu établi en 2005. *A contrario*, la production d'électricité renouvelable s'est contractée de plus de 6 %. La belle progression des filières éolienne et photovoltaïque n'a pas compensé le re-

P : production nationale d'énergie primaire

DS : déstockage

I : solde importateur

* y compris hydraulique, éolien et photovoltaïque

** énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique, biocarburants...) et pompes à chaleur

Notes de lecture :

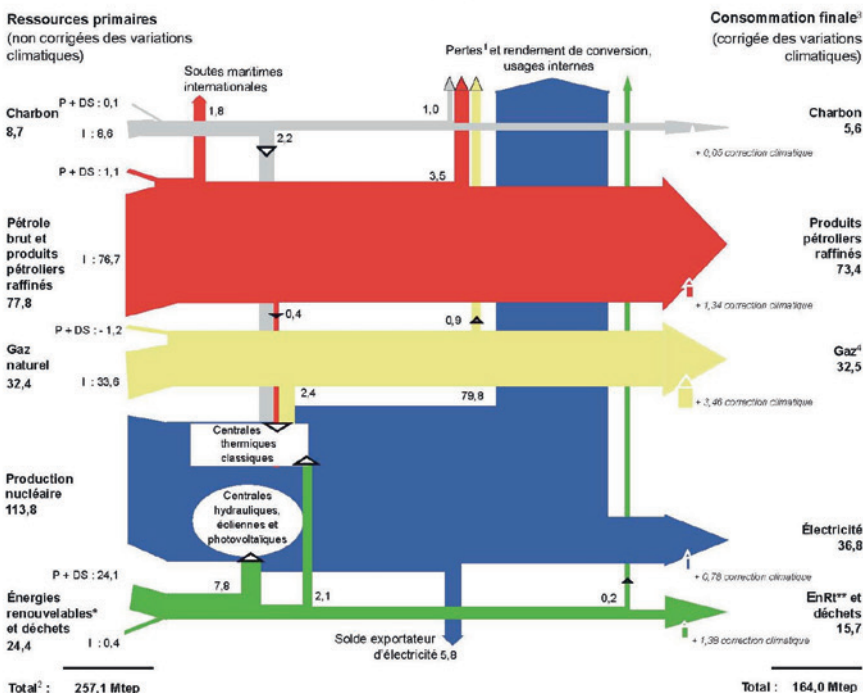
¹ L'importance des pertes dans le domaine de l'électricité tient à la convention internationale qui veut que l'électricité d'origine nucléaire soit comptabilisée pour la chaleur produite par la réaction, chaleur dont les deux tiers sont perdus lors de la conversion en énergie électrique.

² Pour obtenir le total de l'énergie disponible en France métropolitaine (cf. Annexe - Bilan de l'énergie), il faut déduire des « ressources primaires » le « solde exportateur d'électricité » et les « soutes maritimes internationales ».

³ Consommation finale égale à la consommation finale énergétique et non énergétique (cf. Méthodologie - Définitions).

⁴ Y compris des quantités très faibles de gaz industriels utilisés dans la sidérurgie.

Ensemble des énergies Bilan énergétique de la France en 2014 (Mtep)



Source : SOeS - bilan de l'énergie 2014

pli de la production hydraulique (environ - 11 %) dû aux conditions climatiques. La production d'énergie primaire provenant des énergies renouvelables thermiques et de la valorisation des déchets diminue de plus de 1 Mtep, à 16,3 Mtep. L'essentiel de la baisse provient de la moindre production de bois-énergie, qui est, en France, la principale filière renouvelable thermique, une production qui passerait de près de 10 Mtep à 8,7 Mtep entre 2013 et 2014, en raison de la douceur de l'hiver.

Une production d'énergie primaire en hausse de près d'un point et une consommation réelle en baisse de près de quatre points sont les deux faits concourant à la nette hausse du taux d'indépendance énergétique, qui, entre 2013 et 2014, enregistre un bond de 53,1 % à 55,8 %.

L'intensité énergétique finale diminue de 0,8 % en 2014, après correction des variations climatiques. Or, depuis 2004, elle baisse chaque année de - 1,4 % en moyenne. Il faut remonter à 2009 (année de crise économique) pour observer un recul de l'intensité énergétique qui soit d'ampleur encore plus modeste. D'une part, la consommation finale d'énergie n'a que très peu diminué (- 0,3 %) et, d'autre part, le produit intérieur brut (PIB) a quasi stagné (+ 0,2 %).

Selon le calcul partiel et provisoire du SOeS, les émissions de CO₂ liées à la combustion d'énergie chutent de 9,4 % en 2014 (en données réelles). L'ampleur de cette baisse s'explique principalement par la douceur des températures qui s'est traduite par une moindre demande d'énergie, notamment fossile. Après avoir longtemps plafonné, les émissions, corrigées des variations climatiques, diminuent désormais nettement : elles ont reculé de 2,4 % par

an en moyenne depuis 2007. Ainsi, en 2014, leur niveau est inférieur de 15,6 % à celui de 1990.

Contexte économique, social et climatique

Une croissance économique mondiale identique à celle de 2013

En 2014, le produit intérieur brut (PIB) mondial augmente à un rythme identique à celui de 2013 : + 3,4 % (voir la Figure 1 de la page suivante).

Aux États-Unis, la croissance est plus vigoureuse que prévu, tout en étant inférieure d'un point à la croissance mondiale. La consommation, principal moteur de cette croissance, profite du rythme soutenu de la création d'emplois et de la croissance des revenus, de la baisse des prix du pétrole et du regain de confiance chez les consommateurs. Le taux de chômage y tombe à 5,5 % en février, soit plus d'un point au-dessous de son niveau de 2013.

Au Japon, la croissance, en 2014, est quasi nulle, du fait de la faiblesse de la consommation et de l'effondrement de l'investissement résidentiel au second semestre.

Après deux années de repli, la zone euro renoue avec une croissance de l'activité en 2014. Mais elle reste nettement en deçà de la croissance enregistrée aux États-Unis et au niveau mondial. L'activité est plus faible que prévu jusqu'au milieu de l'année, mais elle semble se redresser en fin d'année, la consommation étant soutenue par la baisse des prix du pétrole et par l'augmentation des exportations.

Figure 1 : Indicateurs économiques mondiaux.

En %

Évolution annuelle	2013	2014
PIB* mondial à prix constants	3,4	3,4
Pays avancés	1,4	1,8
dont États-Unis	2,2	2,4
dont Zone euro	-0,5	0,9
dont Allemagne	0,2	1,6
dont France	0,3	0,4
Pays émergents et en développement	5,0	4,6
Volume du commerce mondial	3,5	3,4
Cours des matières premières		
Pétrole	-0,9	-7,5
Hors combustibles	-1,2	-4,0

* Produit intérieur brut.

Source: FMI, avril 2015.

Au sein de la zone euro, l'Allemagne affiche le meilleur bilan (+ 1,6 %) et l'Espagne se redresse sensiblement (+ 1,4 %, après - 1,2 % en 2013). La France, quant à elle, demeure en retrait, affichant, comme en 2013, + 0,4 % (source : Fonds Monétaire International).

Comme les années passées, les pays émergents et ceux en développement affichent, dans leur ensemble, une croissance supérieure à la moyenne mondiale. Cependant, en 2014, leurs résultats sont généralement inférieurs à ceux enregistrés en 2013. La croissance en Inde et en Chine dépasse toutefois les 7 %.

Le commerce mondial progresse encore en 2014, à un rythme semblable à 2013. Contrairement à l'année précédente, les pays émergents et les pays avancés contribuent presque à égalité à la progression des flux.

En 2014, le prix du pétrole se contracte fortement ; celui des matières premières hors combustibles enregistre lui aussi une baisse importante. Ces fortes baisses, conjuguées au recul des prix d'autres produits de base, aboutissent à un fléchissement de l'inflation dans les pays avancés.

Dans les pays émergents, le recul des prix du pétrole et de ceux d'autres produits de base (y compris les produits alimentaires, dont le poids est plus lourd dans l'indice des prix à la consommation des pays émergents et des pays en développement) s'est généralement traduit par une baisse de l'inflation, à l'exception notable de pays dont la monnaie s'est dépréciée, comme la Russie.

Un marché du pétrole excédentaire en 2014

La demande mondiale de pétrole s'élève à 92,5 millions de barils/jour (Mbl/j) en 2014. Elle augmente de 0,7 % par rapport à 2013, soit à un rythme sensiblement inférieur à 2013 (+ 1,4 %) et à 2012 (+ 1,2 %).

Cette légère augmentation résulte de deux mouvements

contraires : une baisse de la demande des pays de l'OCDE (- 1,1 %) et une forte hausse de celle des pays hors OCDE (+ 2,4 %).

Dans la zone OCDE, la demande se replie en 2014, prolongeant une tendance observée depuis plusieurs années. Seule l'année 2013 a fait exception, avec une légère hausse de 0,4 %. La demande européenne poursuit sa baisse (- 1,5 % en 2014 et - 5,6 % depuis 2011), alors que la demande nord-américaine reste, quant à elle, stable. Dans la zone OCDE Asie, la demande de pétrole recule en 2014, au même rythme qu'en 2013 (- 2,4 %).

Dans l'ensemble des pays hors OCDE, la demande continue de progresser, mais à un rythme moindre par rapport à celui constaté en 2013. La demande chinoise demeure celle qui progresse le plus (+ 3,0 %). Au Moyen-Orient, la demande affiche une hausse deux fois plus élevée que celle constatée en 2013. Dans les autres pays d'Asie, la demande progresse elle aussi (+ 1,7 %), mais à un rythme de croissance qui diminue régulièrement depuis 2011.

Au total, l'offre de pétrole atteint, en 2014, 93,5 Mbl/j, soit une nette progression (+ 2,3 %) après une année 2013 plus atone. L'excédent de l'offre par rapport à la demande est le plus élevé de ceux constatés au titre de ces dernières années. Face à une demande en faible progression, les pays producteurs ne réduisent pas pour autant leur offre. C'est notamment le cas des États-Unis qui augmentent leur production de pétrole non conventionnel (voir la Figure 2 de la page suivante).

Dans ce contexte, les cours s'effondrent, le prix en dollar du baril baissant de plus de 40 % en 2014. L'impact est important pour les économies fragiles, fortement dépendantes des exportations de brut, dont l'équilibre budgétaire dépend d'un cours du brut largement supérieur à

Figure 2 : Offre et demande mondiales de pétrole.

En millions baril/jour

	2011	2012	2013	2014	Evolution 2013-2014 (en %)
Demande OCDE	46,4	45,9	46,1	45,6	-1,1
Demande non-OCDE	43,1	44,6	45,8	46,9	2,4
dont Chine	9,4	9,8	10,1	10,4	3,0
autre Asie	11,2	11,6	11,9	12,1	1,7
Moyen-Orient	7,5	7,8	7,9	8,1	2,5
Demande totale	89,5	90,6	91,9	92,5	0,7
Offre totale	88,6	90,7	91,4	93,5	2,3
Écart offre-demande	-0,9	0,1	-0,5	1,0	

Source : AIE Oil Market Report, 15 avril 2015.

100 dollars. Dans le même temps, les pays importateurs voient leur facture énergétique se contracter.

Le contexte macroéconomique français

En 2014, la croissance de l'économie française a été faible : le produit intérieur brut (PIB) a crû de 0,2 %, après + 0,7 % en 2013. Comme en 2013, l'investissement pèse négativement sur la croissance, alors que la consommation des ménages accélère légèrement. Les importations progressent à un rythme plus soutenu que les exportations, de sorte que les échanges extérieurs grèvent la croissance.

En volume, la production industrielle continue de baisser en 2014 (- 0,3 %, comme en 2013). Elle demeure inférieure de 9,5 % au plus haut niveau qu'elle a atteint en 2007, l'année précédant la crise. La production manufacturière croît à nouveau (+ 0,3 %, après - 0,5 % en 2013), alors que le secteur énergétique est en net repli (- 3,5 %, après + 0,7 %), en lien avec les températures élevées de l'année. En particulier, l'activité recule nettement dans la branche « Production et distribution d'électricité, de gaz, de vapeur » (- 4,5 %), après avoir connu deux années de hausse. Dans la cokéfaction et le raffinage, la production diminue de 2,8 % en 2014, soit une baisse de même ampleur que celle constatée en 2013. Enfin, dans la construction, le recul de la production s'amplifie (- 2,1 %, après - 0,5 % en 2013).

Les dépenses de consommation des ménages continuent de croître en 2014 : + 0,6 % en euros constants, après + 0,4 % en 2013. Le rebond de la consommation de biens manufacturés (+ 0,6 %, après - 0,8 %) est imputable à une inflexion de la baisse des achats d'automobiles (- 0,2 %, après - 5,3 %) et à l'accélération des dépenses en biens d'équipement qui retrouvent leur croissance de long terme (+ 7,6 %, après + 4,6 % en 2013).

Les dépenses de services ralentissent légèrement (+ 0,6 %, après + 1,0 % en 2013). Les dépenses en énergie-eau-déchets chutent en 2014 (- 8,7 %, après + 2,1 %). Le recul atteint 14,7 % pour le gaz et près de 10 % pour

l'électricité. Ces fortes baisses sont comparables à celles observées en 2011, la deuxième année la plus chaude depuis 1900, après 2014.

La formation brute de capital fixe (FBCF) - c'est-à-dire l'investissement de l'ensemble des agents économiques - recule à nouveau en 2014 (- 1,2 %, après - 0,6 % en 2013) et reste ainsi inférieure de 6,7 % à son niveau de 2007. Cette dégradation est imputable aux ménages (- 5,3 %, après - 1,5 %), dont l'investissement dans la construction chute, mais aussi au net recul de l'investissement des administrations publiques (- 6,9 %, après + 0,1 %), particulièrement dans les matériels de transport et la construction (génie civil et bâtiment).

En revanche, l'investissement des entreprises non financières accentue sa progression (+ 2,0 %, après + 0,5 %), notamment grâce à une nette reprise dans les matériels de transport (+ 4,2 %, après - 1,7 %) et les services d'information-communication (+ 2,2 %, après - 0,1 %).

Les décisions des entreprises influent également sur l'activité à travers les comportements qu'elles adoptent en matière de stockage. En 2014, les entreprises ont davantage stocké qu'en 2012 et 2013, les stocks contribuant ainsi positivement à la croissance du PIB, à hauteur de 0,2 point. Au total, en 2014, l'investissement des entreprises et le stockage contribuent à la croissance du PIB à hauteur de + 0,5 point, après + 0,2 point en 2013.

En 2014, les importations croissent en volume (+ 3,8 %, après + 1,7 %) plus rapidement que les exportations (+ 2,4 %, après + 1,7 %). De ce fait, le commerce extérieur contribue négativement à l'activité, à hauteur de - 0,5 point de PIB, après une contribution nulle en 2013. En valeur, le solde extérieur est toutefois stable, le prix des importations baissant sensiblement plus que celui des exportations, sous l'effet notamment de la baisse du prix du pétrole. En volume, la hausse des importations concerne principalement les biens d'équipement et les autres biens manufacturés, en particulier les produits pharmaceutiques. Le dynamisme des exportations est dû avant tout aux autres biens manufacturés et aux services aux entreprises.

Figure 3 : Évolution des principaux agrégats nationaux.

En %

	2010	2011	2012	2013	2014
PIB	2,0	2,1	0,2	0,7	0,2
Dépenses de consommation finale *	1,3	0,5	0,3	0,6	0,7
Formation brute de capital fixe	0,5	0,5	0,1	-0,1	-0,3
Exportations	9,0	6,9	2,5	1,7	2,4
Importations	8,9	6,3	0,7	1,7	3,8

* Ménages et administrations publiques.

Source: Insee, comptes nationaux, base 2010.

En 2014, le revenu disponible brut des ménages progresse de + 1,1 % en valeur, après + 0,7 % l'année précédente. En parallèle, le prix de la dépense de consommation finale reste stable (contre + 0,8 % en 2013), du fait notamment de la baisse des prix de nombreux produits manufacturés (particulièrement les biens d'équipement) et de ceux des hydrocarbures. *A contrario*, le prix de certains services (construction, restauration) progresse en 2014 suite au relèvement de 7 à 10 % du taux réduit de la TVA. Le pouvoir d'achat du revenu disponible augmente donc comme le fait le revenu disponible (+ 1,1 %, après - 0,1 % en 2013) (voir les Figures 3 ci-dessus et 4 ci-dessous).

Climat en 2014 : une année exceptionnellement chaude, des précipitations excédentaires et un ensoleillement proche de la normale

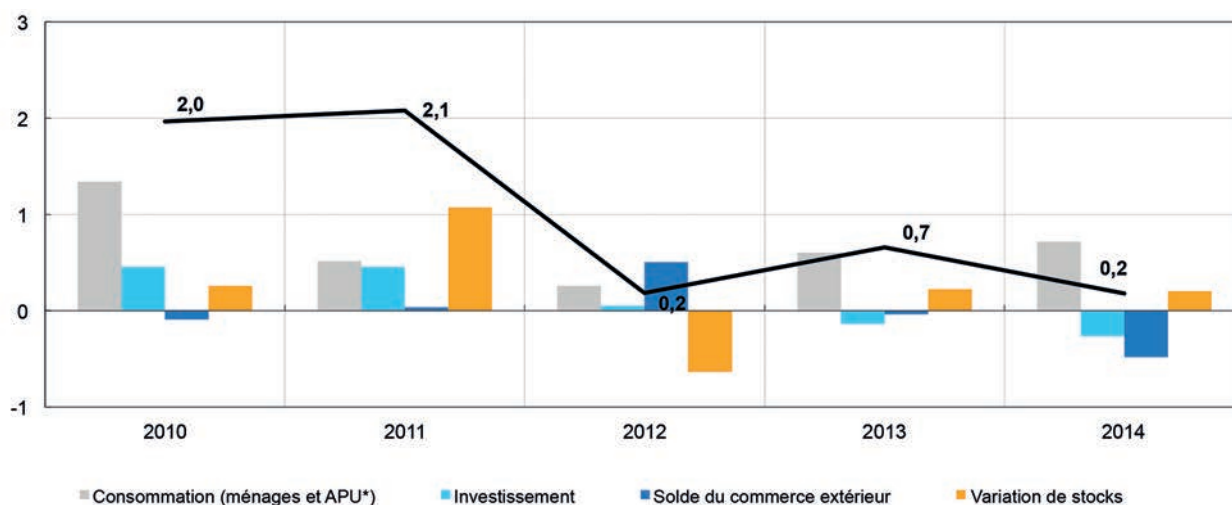
L'année 2014 a battu tous les records de chaleur non seulement en France, mais aussi en Europe et dans le monde. Sur toute la France, la température constatée a été supérieure en moyenne de 1,5°C à celle de la période de référence (1981-2010) et à celle de 2013. 2014 devient ainsi l'année la plus chaude depuis 1900. Ce nouveau record est très proche de celui enregistré en 2011 et contraste avec les années 2012 et 2013 qui en termes de température n'ont pas présenté un caractère exceptionnel.

Les températures moyennes de la plupart des mois de l'année 2014 ont été supérieures à la normale, à quelques exceptions près : les mois de mai et de juillet ont été très proches de la normale, le mois d'août a été, quant à lui, particulièrement frais.

La pluviométrie de l'année 2014 se situe dans le prolongement de celle de 2013. Elle a en effet été supérieure à la normale de plus de 10 % en moyenne sur toute la France, selon Météo France. Les précipitations ont été plus ou moins importantes en fonction des régions, avec en particulier des niveaux atteignant une fois et demie la normale de l'Hérault à l'Ardèche et des Bouches-du-Rhône aux Alpes-Maritimes. Cet excédent est de 20 % en Bretagne, dans le Poitou, dans l'ouest des Pyrénées ainsi que dans le quart Sud-est. En revanche, le sud de la Lorraine et le massif des Vosges ont subi un déficit proche de 20 % (voir la Figure 5 de la page suivante).

Toujours selon Météo France, la durée annuelle d'ensoleillement a été très proche de la normale, avec toutefois un ensoleillement excédentaire de plus de 10 % dans les régions s'étendant de l'ouest de la Basse-Normandie au nord de la Bretagne, ainsi qu'au sud des Pays de la Loire (voir la Figure 6 de la page suivante).

Figure 4 : Évolution du PIB en volume et contributions (en points) de chaque agrégat à cette évolution.



* Administrations publiques.

Source : Insee, comptes nationaux, base 2010.

Figure 5 : Cumul des précipitations en 2014 - Rapport à la moyenne de référence (1981-2010).

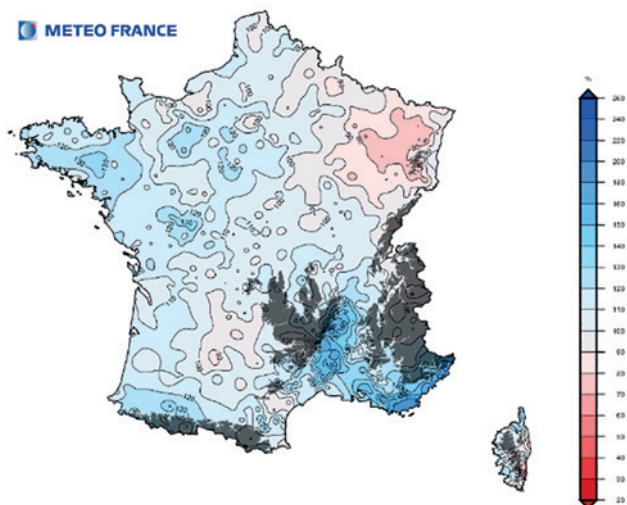
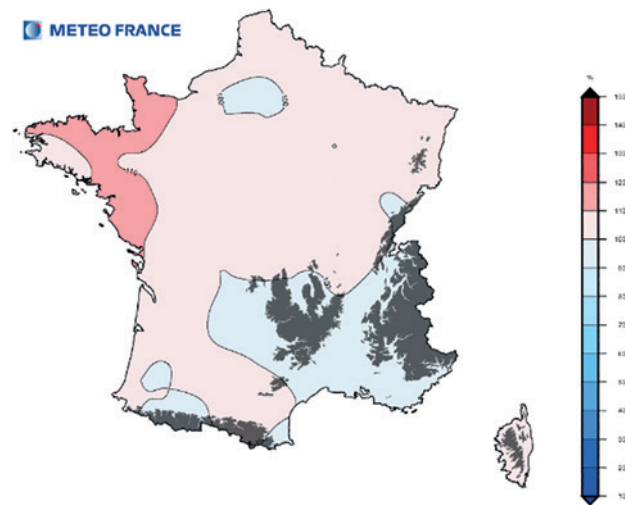


Figure 6 : Durée d'ensoleillement en 2014 - Rapport à la moyenne de référence.

En %



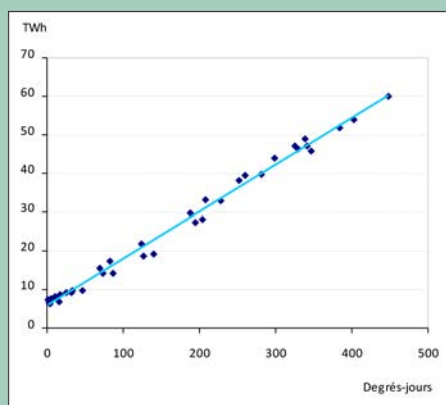
En 2014, les besoins en énergie pour le chauffage ont été inférieurs à la moyenne. Les experts considèrent en effet que l'énergie consommée pour le chauffage au cours d'une journée est proportionnelle au nombre de « degrés-jours », c'est-à-dire à l'écart entre la température moyenne de la journée et une température de confort thermique minimale, lorsque la première température est inférieure à la seconde. Le SOeS, comme d'autres organismes, fixe cette température de confort thermique minimale déclenchant le chauffage à 17°C.

Par rapport à la référence, qui correspond à la moyenne constatée sur la période 1981-2010, l'année 2014 a enregistré 21,6 % de degrés-jours de moins que la moyenne et 20,9 % si l'on ne s'intéresse qu'à la seule « saison de chauffe », période de l'année qui va de janvier à mai et d'octobre à décembre inclus (voir la Figure 8 de la page suivante). Ainsi, la consommation évitée du fait d'un moindre recours au chauffage est évaluée, selon la méthode de correction climatique du SOeS, à 7 Mtep par rapport à la période de référence.

Températures et consommation d'énergie : la correction des variations climatiques - L'exemple du gaz.

La consommation de gaz est consacrée pour l'essentiel au chauffage. Une petite part est utilisée pour la cuisson et une très faible part sert à un processus de production, surtout si l'on considère la seule consommation des clients reliés au réseau de distribution (les gros consommateurs étant directement raccordés au réseau de transport).

Figure 7 : Quantité de gaz distribué en fonction des degrés-jours du mois entre 2012 et 2014.



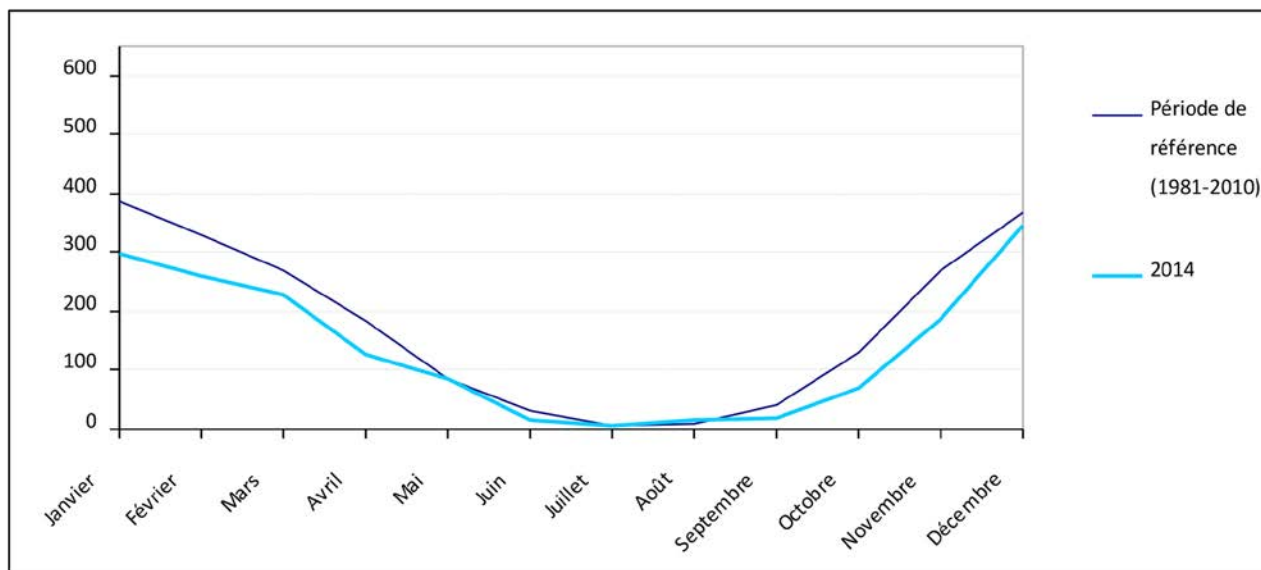
Le graphique ci-contre met en évidence, sur cet exemple particulièrement simple, le lien entre les températures mensuelles, exprimées en degrés-jours, et la consommation de gaz. Il indique au titre de ces trois dernières années la consommation de gaz distribué (en ordonnée) et les degrés-jours (en abscisse). La proportionnalité est presque parfaite. Elle permet de conclure qu'un degré-jour supplémentaire, c'est-à-dire une baisse d'un degré un jour où la température est inférieure à 17° C, entraîne une augmentation de la consommation de 122 GWh.

Cette relation légitime le calcul de données « corrigées des variations climatiques » : on calcule ce qu'auraient été les consommations si les températures avaient été « normales », c'est-à-dire égales à celles d'une période de référence. On obtient ainsi des séries de consommation qui, ne dépendant plus des aléas climatiques, rendent compte de la seule évolution des comportements des consommateurs.

Source : SOeS

Figure 8 : Nombre de degrés-jours mensuels.

En degrés-jours



Note : plus le nombre de degrés-jours est élevé, plus le climat peut être qualifié de rude.

Source : Météo-France.

Poids de l'énergie dans l'économie et la société française en 2014

Prix de l'énergie sur les marchés internationaux et européens en 2014

Prix des produits pétroliers

En moyenne, sur l'année 2014, le Brent s'établit en dessous de la barre symbolique des 100 dollars, à 99 dollars le baril plus précisément, soit un recul de 8,9 % par rap-

port à son niveau de 2013. Il cède ainsi près de 10 dollars sur un an et environ 13 dollars par rapport à son record de 2012. Mesuré en euros, ce recul est très comparable à celui observé en dollars (- 9,3 % sur un an, à 74,2 €/baril), en raison d'une parité entre les deux devises restée stable de 2013 à 2014.

Au cours du premier semestre 2014, le cours du baril a oscillé entre 107 et 112 dollars, pour un maximum atteint au mois de juin. À partir du mois de juillet, il décroche,

Figure 9 : Cotations moyennes mensuelles du Brent daté.

En dollars et en euros courants



Sources : Reuters, DGEC.

enregistrant une baisse comprise entre 4 et 5 % jusqu'au mois de septembre, où il s'établit à 97,3 \$/bl, soit un retrait d'environ 15 dollars en trois mois. Entre septembre et novembre, le rythme de la baisse s'accélère (- 10 % par mois), puis le Brent chute de 20 % entre novembre et décembre. Le cours du baril s'établit ainsi en moyenne mensuelle à 62,5 dollars, soit une perte de plus de 49 dollars en six mois.

Sur longue période, l'évolution du cours du Brent a été irrégulière, avec, en particulier, un record inégalé observé le 3 juillet 2008, à 145 \$/bl. En effet, face à une forte demande en provenance de pays émergents et une offre insuffisante, le marché avait alors anticipé des difficultés d'approvisionnement. Le retournement de la conjoncture s'était ensuite traduit par un effondrement des prix, avec un baril à 36 dollars à la fin décembre 2008. Erratiques ensuite, les prix mondiaux n'ont retrouvé une croissance plus rapide et régulière qu'à partir de juin 2010 (75 \$/bl), pour atteindre le seuil de 91 \$/bl en décembre. En 2011, cette hausse s'était accélérée pour culminer à plus de 123 \$/bl en avril, avant d'entamer une phase plus incertaine, avec un prix orienté à la baisse jusqu'à décembre 2011 (108 \$/bl). Les prix sont ensuite restés à un niveau élevé jusqu'au mois d'août 2014 (à plus de 100 \$/bl, sauf au mois de juin 2012). La forte baisse observée au cours du second semestre 2014 s'explique notamment par une faible demande mondiale face à une offre excédentaire, alimentée qu'elle est par l'afflux de pétrole de schiste américain et par la décision prise par les pays de l'Opep, fin novembre 2014 (et confirmée en juin 2015), de maintenir inchangés leurs quotas de production. Les effets de cette décision se sont faits largement ressentir, et ce en dépit de l'instabilité de la situation géopolitique de certains pays producteurs (voir la Figure 9 de la page précédente).

Le prix du charbon vapeur

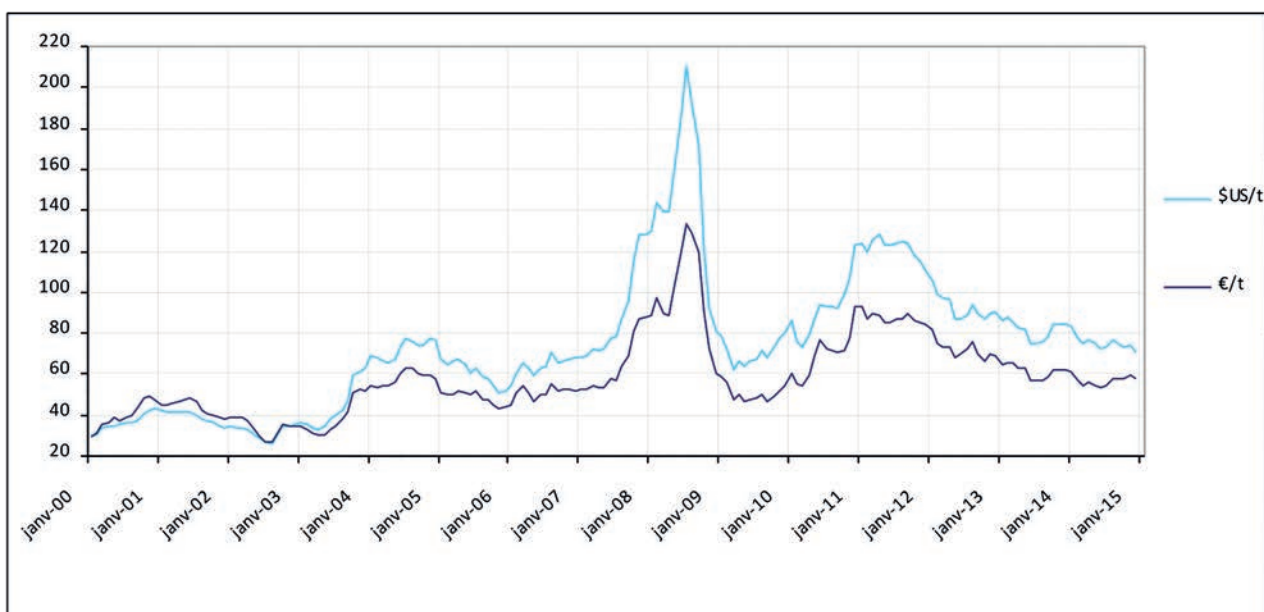
À 75,2 \$/t en moyenne sur l'année, le prix spot du charbon vapeur sur le marché d'Anvers-Rotterdam-Amsterdam (ARA) a diminué de 8 % en 2014 par rapport à 2013. Les prix ont baissé régulièrement durant le premier semestre. Après être repartis à la hausse en août, ils ont retrouvé leur tendance à la baisse pour atteindre 71 \$/t en décembre, soit leur plus bas niveau en 2014 (voir la Figure 10 ci-dessous).

Mesurée en euros, la baisse du prix spot est d'ampleur comparable : - 8 % à 56,7€/t coût, assurance et fret (CAF), contre 62 €/t en 2013, du fait d'une parité euro/dollar quasi stable entre 2013 et 2014.

Depuis quinze ans, le prix du charbon s'inscrit dans le sillage du prix du baril de pétrole. Jusqu'en mars 2003, le prix spot est resté à un niveau bas, en dessous de 50 \$/t. Il a ensuite augmenté jusqu'en juillet 2007, affichant une moyenne de 63 \$/t. À l'été 2008, les insuffisances des circuits logistiques n'ayant pas permis de répondre à une demande massive, les prix ont fortement augmenté, pour atteindre le record de 210 \$/t en juillet 2008. Par la suite, la crise économique de 2008 a induit un effondrement des prix qui sont revenus à leur niveau antérieur (64 \$/t en mai 2009). En deux ans, portés par la forte demande de la Chine et de l'Inde, et sous l'influence de la hausse des prix du pétrole, les prix du charbon sont remontés sensiblement, jusqu'à 128 \$/t en avril 2011. Depuis, ils s'inscrivent dans une nouvelle tendance à la baisse.

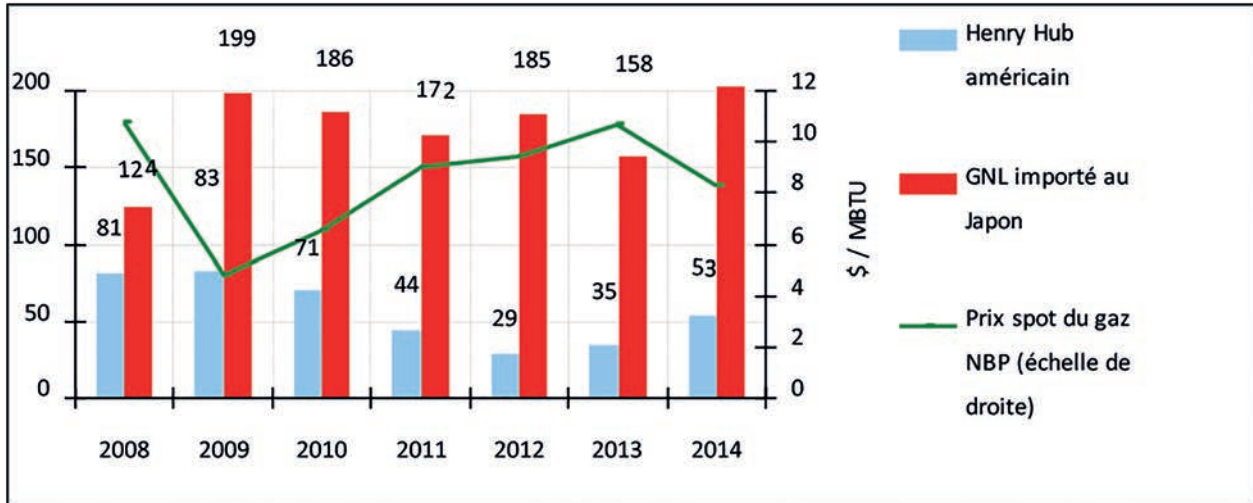
Le marché est tiré essentiellement par la demande de charbon vapeur servant à la production d'électricité. Aux États-Unis, depuis 2008, la part du charbon dans le mix électrique a chuté au profit du gaz de schiste. Face à la baisse de la demande intérieure, le pays a exporté davantage vers l'Europe, un surplus de ressources qui s'ajou-

Figure 10 : Prix spot du charbon vapeur sur le marché Anvers-Rotterdam-Amsterdam.



Source : Mc Closkey, North West steam coal marker.

Figure 12 : Rapport entre les prix Henry Hub aux États-Unis et « gaz naturel liquéfié (GNL) importé au Japon » avec le prix « National balancing point (NBP) à Londres ».



Note : en 2014, le prix Henry Hub représente 51 % du prix NBP, tandis que le prix du GNL importé au Japon est du double du prix NBP.
Sources : U.S. Energy Information Administration ; National Balancing Point à un mois ; Japanese Ministry of Finance.

tant à une offre déjà abondante a entraîné une forte baisse des prix. En 2014, cette diminution se poursuit. En effet, suite à la réduction de ses importations par la Chine, premier importateur mondial de charbon, et en dépit du repli des exportations américaines dû aux prix bas, le marché international reste excédentaire.

Prix de gros du gaz naturel

Le prix du gaz naturel sur le marché National Balancing Point (NBP) à Londres (prix de référence pour le marché continental européen) s’est élevé en moyenne à 8,2 \$/MBtu en 2014 contre 10,6 \$/MBtu en 2013, soit une baisse de 23 %, après quatre années de hausse. Les températures exceptionnellement douces, particulièrement durant l’hiver, ont eu un impact baissier sur la demande et, par conséquent, sur les prix.

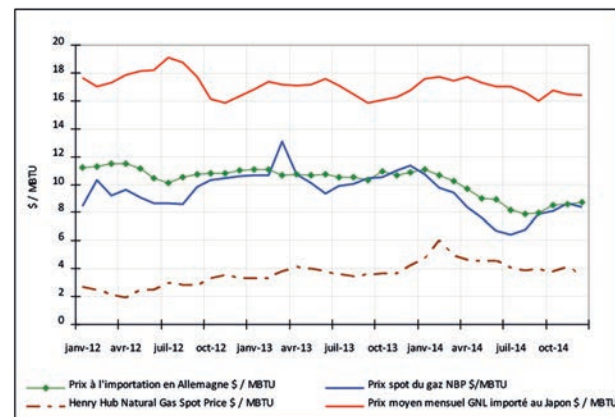
Sur l’année 2014, le prix moyen mensuel a évolué dans une fourchette comprise entre 6,4 \$ et 10,7 \$/MBtu.

Le rapport entre le prix annuel moyen NBP et le prix annuel moyen sur le marché Henry Hub américain s’est encore réduit en 2014, passant de 2,9 à 1,9, après avoir culminé à 3,4 en 2012. Après deux années de fortes baisses (en 2011 et 2012), le prix du gaz naturel sur le marché américain Henry Hub a connu un rattrapage de 31 % en 2013, puis de 17 % en 2014, il revient ainsi à son niveau de 2010. Contrairement à l’Europe de l’Ouest, l’hiver a été rigoureux Outre-Atlantique, ce qui a accru la pression sur les prix dans cette zone géographique, l’écart de prix entre les deux continents s’est ainsi réduit.

La fermeture progressive du parc nucléaire japonais après la catastrophe de Fukushima, en mars 2011, avait entraîné un report de la production électrique sur les centrales à gaz. Pour assurer ses approvisionnements massifs et capter les cargaisons de gaz naturel liquéfié (GNL), le Japon avait dû consentir à payer des prix élevés. Après deux années de fortes hausses (en 2011 et 2012), le prix moyen, exprimé en dollar, du GNL importé par le Japon

Figure 11 : Prix moyen à l’importation du gaz en Allemagne et du gaz naturel liquéfié (GNL) au Japon, prix spot du gaz sur le marché National balancing point (NBP) de Londres et sur le Henry Hub américain.

En euros/million de British thermal unit (MBtu)



Sources : Deutsches Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle ; U.S. Energy Information Administration ; National Balancing Point à un mois ; Japanese Ministry of Finance.

avait baissé de 4 % en 2013 ; il affiche un léger rebond de 1,3 % en 2014. Ainsi le rapport entre le prix moyen du GNL importé au Japon et le prix moyen NBP à Londres s’est-il fortement accru, se situant à 2,1, après s’être réduit à 1,6 en 2013 (voir les Figures 11 et 12 ci-dessus).

Les approvisionnements en France restent largement dominés par les contrats de long terme. Si la part des achats sur contrats à court terme (deux ans au plus) a fortement progressé entre 2010 et 2012, en raison notamment du développement du commerce du GNL, la captation par l’Asie de l’essentiel des cargaisons de GNL en 2013 a mécaniquement induit une baisse de la part des contrats à court terme. En 2014, les importations sont globalement

en repli, mais la baisse porte essentiellement sur les importations sur contrat de long terme, les importations sur contrat de court terme progressant quant à elles. La baisse des prix spot constatée en 2014 sur le marché européen NBP et la poursuite de l'ouverture du marché à la concurrence sont sans doute à l'origine de cette évolution. Ainsi, la part des contrats de court terme atteint 22 %, tandis que celle des contrats à long terme descend à 77 %. En Allemagne ⁽¹⁾, le prix des importations, qui reflète essentiellement les prix des contrats de long terme, a baissé en moyenne de 15 % en 2014, à 9,1 \$/MBtu (voir la Figure 13 ci-après).

Figure 13 : Répartition des importations françaises selon le type de contrat.

	2010	2011	2012	2013	2014
> 10 ans	87,2	80,4	80,3	83,8	76,8
> 2 ans et <= 10	3,3	5,2	4,0	1,8	1,3
<= 2 ans	9,5	14,4	15,7	14,4	21,9
Total	100	100	100	100	100

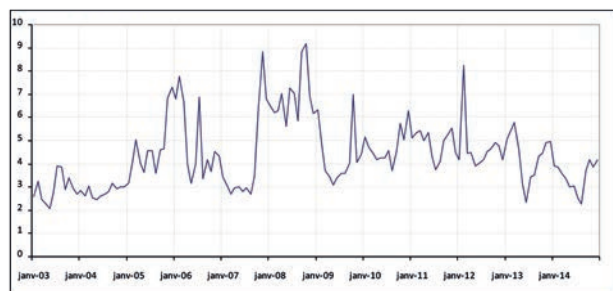
Source : SOeS, enquête annuelle de statistique gazière.

Le prix de gros de l'électricité

Epex Spot (*European Power Exchange*) est la bourse des marchés spot européens de l'électricité. Elle gère les marchés français, allemand, autrichien et suisse. En 2014, ce sont 382 TWh qui ont été négociés par l'intermédiaire de cette bourse (marchés électriques Day-Ahead et Intra-journalier) pour l'ensemble des quatre pays précités, soit une augmentation de 10,4 % par rapport à 2013 (voir la Figure 14 ci-après).

Figure 14 : Prix Baseload moyen mensuel sur le marché European power échange (Epex) Spot France.

En c€/KWh



Source : Epex.

Sur 2014, le prix spot sur le marché Epex de l'électricité livrable en France s'établit en moyenne à 3,47 c€/KWh, contre 4,33 c€/KWh en 2013, soit un repli de 19,9 %, qui fait suite aux deux baisses enregistrées en 2013 et 2012 (respectivement, - 8,1 % et - 3,8 %). En 2014, le prix spot recule fortement dans toute l'Europe occidentale, en raison d'une

(1) Contrairement à la France, où le nombre réduit d'acteurs rend confidentielle l'information, l'Allemagne peut rendre public son prix à l'importation. Il est repris ici à titre d'exemple d'un prix moyen réel, qui est moins volatil que les prix spot du fait qu'il prend en compte des contrats à long terme.

consommation en retrait liée à une météo particulièrement clémente, une baisse amplifiée en France par la très bonne disponibilité du parc nucléaire. La France reste l'un des pays les moins chers sur le marché de gros de l'électricité. Les pays européens peuvent connaître des prix différents en raison des capacités d'interconnexion qui constituent une limite physique aux flux d'électricité et ne permettent pas toujours de faire converger les prix. Le renforcement des interconnexions permet une meilleure convergence des prix. En 2014, le prix spot moyen mensuel a été constamment inférieur à son niveau de 2013, à l'exception du mois de juin 2013, au cours duquel les prix avaient été exceptionnellement bas en France. Pour la troisième année consécutive, des prix négatifs ont été observés en France.

Le solde des échanges contractuels d'électricité avec l'Allemagne, globalement importateur sur l'année, s'est réduit en 2014, passant de 9,8 TWh à 5,9 TWh. Les soldes des échanges contractuels avec les autres pays, globalement exportateurs, sont en nette progression, à l'exception de la Suisse avec laquelle le solde est stable.

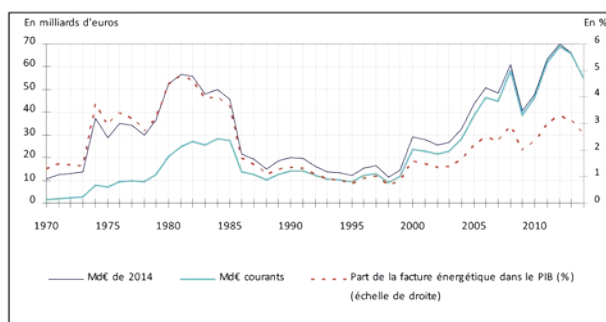
En 2014, la facture énergétique diminue de plus de 11 milliards d'euros par rapport à son niveau élevé de 2013

La facture énergétique de la France (voir l'Encadré ci-dessous) baisse sensiblement en 2014 par rapport à son haut niveau des trois dernières années. Elle s'établit à 54,6 milliards d'euros (Md€), soit un recul de 17,1 %, correspondant à un allègement de plus de 11 Md€ sur un an. Le niveau ainsi atteint équivaut à 2,6 % du produit intérieur brut,

Périmètre de la facture énergétique

La facture énergétique correspond au solde du commerce extérieur en valeur des produits énergétiques : combustibles minéraux solides (charbon et produits solides issus de sa transformation), produits pétroliers (pétrole brut et produits raffinés), gaz naturel et électricité. Elle ne prend donc pas en compte l'uranium, qui est considéré dans les nomenclatures internationales comme un minerai et non comme un combustible (il doit en effet être enrichi avant d'être utilisé dans les centrales nucléaires). La facture de l'uranium s'élevait à moins de 800 millions d'euros en 2013.

Figure 15 : Facture énergétique de la France.



Champ : France entière.

Sources : données des Douanes, calculs SOeS.

Figure 17 : Commerce extérieur de l'énergie en 2014.

En millions d'euros courants

	Importations CAF *			Exportations FAB *			Facture			
	2013	2014	2013-2014 (%)	2013	2014	2013-2014 (%)	2013	2014	2013-2014 (%)	2013-2014 (M€)
Combustibles minéraux solides	1 930	1 452	- 24,8	16	34	+ 115,8	1 914	1 418	- 25,9	- 496
Pétrole brut	34 372	29 222	- 15,0	43	3	- 93,3	34 328	29 219	- 14,9	- 5 109
Produits pétroliers raffinés	29 192	26 921	- 7,8	11 977	11 206	- 6,4	17 215	15 714	- 8,7	- 1 501
Total pétrole	63 563	56 142	- 11,7	12 020	11 209	- 6,7	51 543	44 933	- 12,8	- 6 610
Gaz	14 790	11 434	- 22,7	617	1 086	+ 76,0	14 173	10 347	- 27,0	- 3 825
Pétrole et gaz	78 353	67 576	- 13,8	12 637	12 295	- 2,7	65 716	55 281	- 15,9	- 10 435
Electricité	1 418	987	- 30,4	3 212	3 129	- 2,6	-1 794	-2 142	+ 19,4	- 348
Total	81 701	70 015	- 14,3	15 864	15 458	- 2,6	65 836	54 557	- 17,1	- 11 279

* CAF : coût, assurance et fret ; FAB : franco à bord.

Sources : données des Douanes, calculs SOeS.

contre plus de 3 % entre 2011 et 2013. Dans les années 1990, ce taux n'était que de 1 %. Il a ensuite oscillé entre 1,5 % et 2,5 % dans les années 2000, à l'exception de l'année 2008 où il a frôlé les 3 %, en raison de la flambée des prix des énergies (voir la Figure 15 de la page précédente).

Même en nette diminution, la facture énergétique reste légèrement supérieure au déficit commercial de la France, qui est évalué par les Douanes ⁽²⁾ à 53,8 Md€.

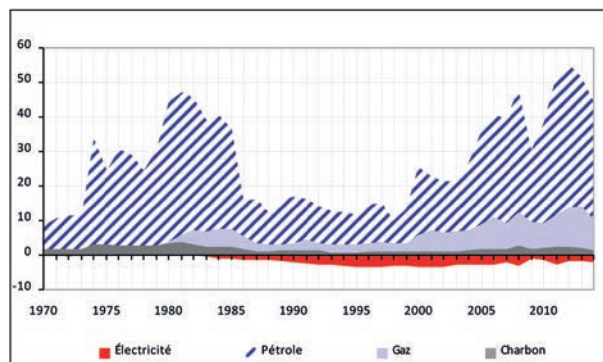
Les produits pétroliers y contribuent à hauteur de 82 % en 2014. La facture pétrolière a nettement régressé par rapport à celle de 2013, de -12,8 %, affichant un montant total de 45 Md€, soit une économie de 6,6 Md€ au total. Cette baisse touche davantage encore le pétrole brut que les produits raffinés (respectivement -14,9 % et -8,7 %). D'une part, les prix du brut importé et des produits raffinés ont fléchi en 2014 par rapport à 2013, respectivement de -7,9 % et -8,4 % (prix moyens coût, assurance et fret (CAF) à l'importation en euros courants par tonne). Cette tendance est directement liée aux évolutions du pétrole brut, avec un Brent se situant en dessous de la barre symbolique des 100 \$/baril, soit un repli de près de 9 % par rapport à 2013. D'autre part, les volumes de pétrole brut importé ont baissé, alors que ceux des produits raffinés sont restés quasi stables, d'après les Douanes.

La réduction de la facture gazière est encore plus prononcée, sous l'effet conjugué de la baisse des prix et surtout de celle des volumes. Tant le prix spot que ceux des contrats de long terme (plus de dix ans) diminuent. Le recul des volumes est le résultat d'une faible demande, particulièrement liée à la douceur exceptionnelle des températures. Ainsi, la facture gazière s'établit à 10,3 Md€, soit une chute de 27 % par rapport à celle de 2013, et une économie induite de 3,8 Md€.

La facture charbonnière diminue encore, de 25,9 % en 2014, pour un total de seulement 1,4 Md€. En 2014, elle ne représente ainsi plus que 2,6 % du solde importateur en valeur. Cette évolution s'explique également par la baisse des prix conjuguée à une forte régression des volumes, notamment du fait d'une moindre sollicitation des centrales à charbon.

Figure 16 : Facture énergétique de la France déclinée par type d'énergie.

En milliards d'euros 2014



Note : la facture de l'électricité, exportatrice, comptée en négatif, se lit sur la courbe du bas.

Champ : France entière.

Sources : données des Douanes, calculs SOeS.

Les exportations d'électricité permettent à la France d'alléger sa facture énergétique globale, grâce à un excédent commercial lié aux échanges d'électricité qui est de 2,1 Md€ en 2014, soit une hausse de 19,4 % par rapport à 2013 (voir la Figure 16 ci-dessus).

Le poids relatif de la facture énergétique dans les importations descend à 14 %, après avoir dépassé 16 % en 2012 et 2013. Toutefois, elle continue de peser lourdement sur le commerce extérieur de la France : en 2014, il fallait en moyenne un mois et demi d'exportations totales du pays pour compenser la facture énergétique. Si cette contribution est inférieure de neuf jours à la moyenne des trois dernières années, il n'en demeure pas moins que celle-ci reste à un niveau élevé (voir les Figures 17 (en haut de cette page), 18, 19 et 20 (de la page suivante)).

Prix à la consommation

Les prix à la consommation de l'énergie ont baissé de 0,9 % en 2014, après une croissance allant en ralentis-

(2) « Le chiffre du commerce extérieur », DGDDI-Douanes, février 2015.

Figure 18 : Comparaison de la facture énergétique avec quelques agrégats économiques.

	1973	1980	1985	1990	1991	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014
Facture énergétique en milliards d'euros courants (CAF/FAB*)	2,6	20,3	27,5	14,2	13,1	22,9	23,5	38,7	46,5	69,0	65,8	54,6
Facture énergétique en milliards d'euros 2014	13,3	51,5	45,2	19,7	16,3	27,2	28,5	42,5	47,5	69,6	66,2	54,6
Part des importations d'énergie dans les importations totales (en %)	12,4	26,4	22,1	9,4	8,0	9,3	9,6	13,1	13,2	16,8	16,1	14,0
Nombre de jours d'exportations totales pour couvrir la facture énergétique	n.d.**	99,0	72,8	28,8	18,6	25,2	26,4	39,7	43,0	57,0	55,0	45,6
Equivalence entre la facture énergétique et la richesse produite en France - Cours moyen du dollar en euros	1,4	4,5	3,6	1,3	1,0	1,5	1,6	2,2	2,3	3,3	3,1	2,6
	0,68	0,64	1,37	0,83	0,89	1,12	1,09	0,80	0,76	0,78	0,75	0,75

* CAF : coût, assurance et fret ; FAB : franco à bord. ** n.d. : non disponible.

Sources : données des Douanes, calculs SOeS.

Figure 19 : Prix moyens CAF* des énergies importées.

En euros et centimes constants de 2014

	1973	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014
Combustibles minéraux solides (€/t)	117	108	132	77	63	60	87	116	134	101	96
Pétrole brut (€/t)	93	399	466	192	125	281	355	462	659	622	570
Produits pétroliers raffinés (€/t)	163	411	490	243	171	343	421	511	736	688	627
Gaz naturel (c€/kWh)	0,47	1,87	2,94	1,12	0,88	1,26	1,68	1,85	2,87	2,91	2,39

* CAF : coût, assurance et fret.

Sources : données des Douanes, calculs SOeS.

sant depuis deux ans. En effet, suite au bond de 2011 (+ 12,2 %), ils avaient augmenté de 5,2 % en 2012, puis de 0,8 % en 2013. Contrairement aux prix à la consommation de l'énergie, celui de l'ensemble des biens et services a légèrement progressé (+ 0,5 %). Sur dix ans, le prix à la consommation de l'énergie augmente en moyenne de 4,2 % par an, soit 2,7 points de plus que l'inflation (+ 1,5 %) (voir la Figure 21 de la page suivante).

La baisse enregistrée en 2014 s'explique avant tout par celle des prix des produits pétroliers, qui diminuent de 4,3 % en moyenne sur l'année. La baisse a été particulièrement sensible au quatrième trimestre, celle-ci suivant l'évolution des cours du pétrole brut.

Le prix des carburants est en recul : la baisse du prix du gazole atteint 4,8 %, celle de l'essence étant plus modérée (- 3,4 % pour le sans plomb 95 et - 3,1 % pour le sans plomb 98).

Le prix des combustibles liquides (essentiellement du fioul domestique) poursuit son repli pour la deuxième année consécutive, avec une baisse de 6,7 % sur l'année 2014, après celle de 3,1 % enregistrée en 2013.

Le prix du gaz de pétrole liquéfié (GPL) est en revanche en

hausse, le rythme de l'augmentation se réduisant néanmoins pour la troisième année consécutive.

Le prix du gaz naturel suit la même tendance que celui de l'ensemble des énergies : après une croissance fortement ralentie depuis 2010, il affiche une baisse de 0,9 % en 2014. La douceur exceptionnelle de l'hiver 2013-2014, qui s'est traduite par une demande de gaz naturel moindre (et concomitamment par une baisse des prix de gros), et la chute du cours des produits pétroliers y ont contribué.

Le prix de l'électricité augmente, mais moins qu'en 2013 (respectivement + 5,7 % et + 6,5 %). Cette évolution s'explique par la hausse des tarifs réglementés (décidée en novembre 2014 alors qu'en 2013, la hausse était intervenue en août) et par le relèvement de la contribution au service public de l'électricité (CSPE). La baisse intervenue en août du tarif d'utilisation des réseaux publics d'électricité (Turpe) a contribué à modérer la hausse de prix observée en 2014.

Enfin, le prix de la chaleur vendue par les réseaux de chauffage urbain a progressé de 3,1 % en 2014, soit une augmentation deux fois plus faible que celle enregistrée en 2013.

Figure 20 : Prix moyens CAF* des énergies importées.

En euros et centimes courants

	1973	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2012	2013	2014
Combustibles minéraux solides (€/t)	22	42	80	55	48	49	78	112	132	101	96
Pétrole brut :											
- en euro/tonne	18	155	281	136	97	228	316	446	650	618	570
- en \$/bl	4	33	28	22	17	29	54	81	114	112	103
Produits pétroliers raffinés (en €/t)	31	160	295	172	132	278	375	494	726	685	627
Gaz naturel (c€/kWh)	0,09	0,73	1,77	0,79	0,68	1,02	1,49	1,78	2,83	2,89	2,39

* CAF : coût, assurance et fret.

Sources : données des Douanes, calculs SOeS.

Figure 21 : Évolution des prix moyens annuels à la consommation par rapport à l'année précédente.

En %

	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	TCAM*
Carburants	7,9	13,0	5,8	1,9	12,3	-17,1	13,5	14,2	4,9	-2,6	-4,1	3,7
- dont gazole	11,5	16,1	4,9	1,6	15,7	-20,9	14,4	16,5	4,5	-3,3	-4,8	3,8
- dont SP95	4,3	10,0	6,1	3,2	6,1	-10,7	11,3	11,4	4,4	-1,9	-3,4	3,4
- dont SP98	4,5	11,3	5,7	2,7	6,4	-10,8	11,2	11,2	5,3	-1,5	-3,1	3,6
Électricité	1,4	0,0	0,6	1,4	1,4	1,8	2,4	6,5	3,1	6,5	5,7	2,9
Gaz naturel	-5,3	6,7	17,2	3,3	10,9	-2,8	6,9	8,5	7,1	3,9	-0,6	6,0
Gaz de pétrole liquéfié	4,7	9,4	9,5	0,9	11,6	-7,3	1,0	14,1	7,2	4,7	2,6	5,2
Combustibles liquides	14,7	29,8	10,6	0,3	29,2	-30,9	23,2	23,1	9,6	-3,1	-6,7	6,8
Eau chaude, vapeur et glace	0,0	0,0	6,2	7,7	11,1	23,8	0,0	3,9	6,6	6,5	3,1	6,7
Ensemble des énergies	5,0	10,1	6,4	1,7	10,9	-12,0	10,0	12,2	5,2	0,8	-0,9	4,2
- dont produits pétroliers	8,7	15,4	6,7	1,6	15,0	-19,1	14,5	15,7	5,8	-2,4	-4,3	4,3
Ensemble des biens et services	2,1	1,8	1,6	1,5	2,8	0,1	1,5	2,1	2,0	0,9	0,5	1,5

* TCAM : taux de croissance annuel moyen, calculé sur la période 2004-2014.

Sources : Insee, indice des prix à la consommation en France métropolitaine ; DGEC, base de prix couvrant la France métropolitaine hors Corse, pour les prix du gazole, du SP95 et du SP98.

Poids de l'énergie dans le budget des ménages français en 2014 : baisse des dépenses d'énergie dans le logement et des dépenses en carburants

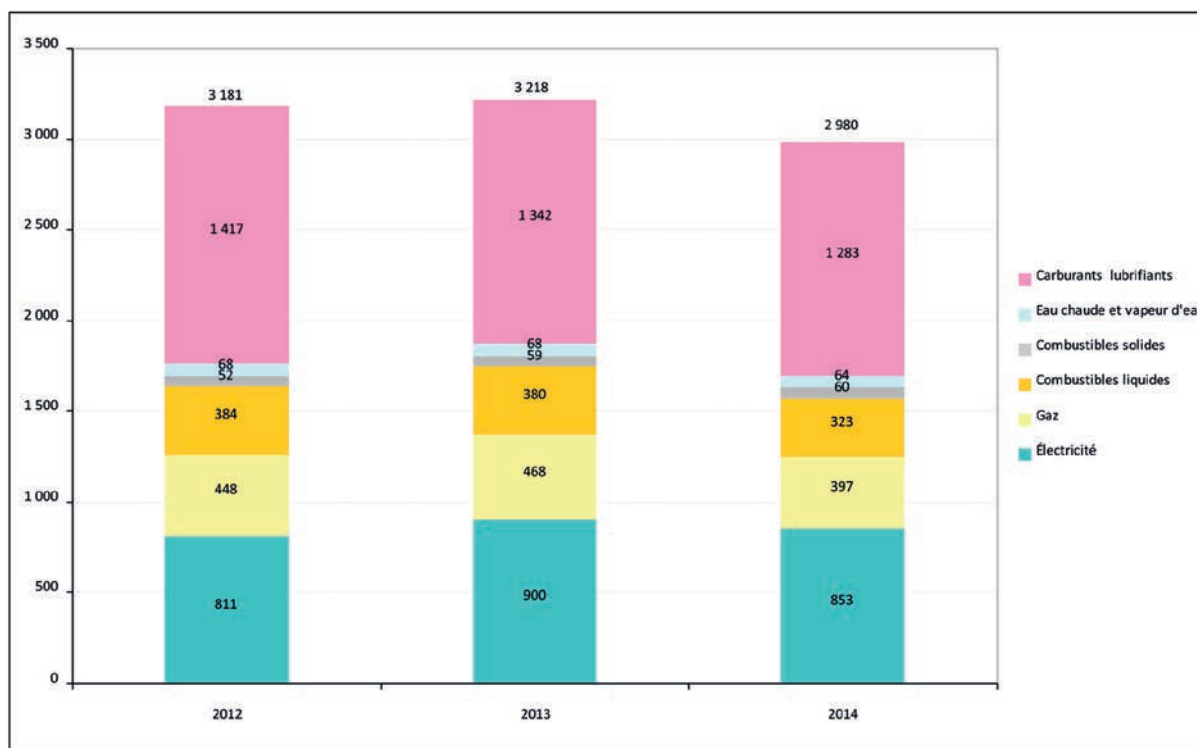
En 2014, les dépenses courantes d'énergie des ménages diminuent (- 7,4 %), après quatre années de hausse. La facture annuelle passe ainsi en dessous de 3 000 euros par ménage, soit une baisse de près de 240 euros par rapport à 2013 (voir la Figure 22 ci-après).

Ce recul résulte d'un double mouvement de baisse : celui des dépenses d'énergie dans le logement (- 9,5 %, contre + 6,3 % entre 2012 et 2013) et celui des dépenses en carburants (- 4,4 %, contre - 5,3 % entre 2012 et 2013).

Les conditions météorologiques plus clémentes qu'en 2013 expliquent la baisse de la consommation d'énergie dans le logement (- 10,7 %), et donc celle de la dépense,

Figure 22 : Dépense en énergie par ménage, entre 2012 et 2014.

en euros courants



Source : calculs SOeS d'après l'Insee, Comptes nationaux base 2010 et SOeS, Comptes du logement 2014.

Figure 23 : Dépense en énergie par ménage, depuis 1973.

En euros 2010

	1973	1990	2002	2010	2012	2013	2014
Électricité, gaz et autres combustibles	1 303	1 446	1 524	1 609	1 519	1 552	1 376
Carburant	1 725	1 812	1 543	1 242	1 185	1 150	1 144
Total énergie	3 028	3 258	3 067	2 851	2 704	2 702	2 520

Note : en 2010, un ménage français a dépensé en moyenne 2 851 euros pour son énergie. Si les prix de l'énergie n'avaient pas augmenté entre 2010 et 2014, il aurait dépensé 2 520 euros en 2014, soit une diminution en volume.

Source : calculs SOeS d'après Insee, Comptes nationaux base 2010 et SOeS, Comptes du logement 2014.

et ce en dépit d'une hausse du prix de l'énergie (+ 2 %). La facture énergétique du logement passe ainsi en dessous de 1 700 euros par logement, soit environ 180 euros de moins par rapport à 2013.

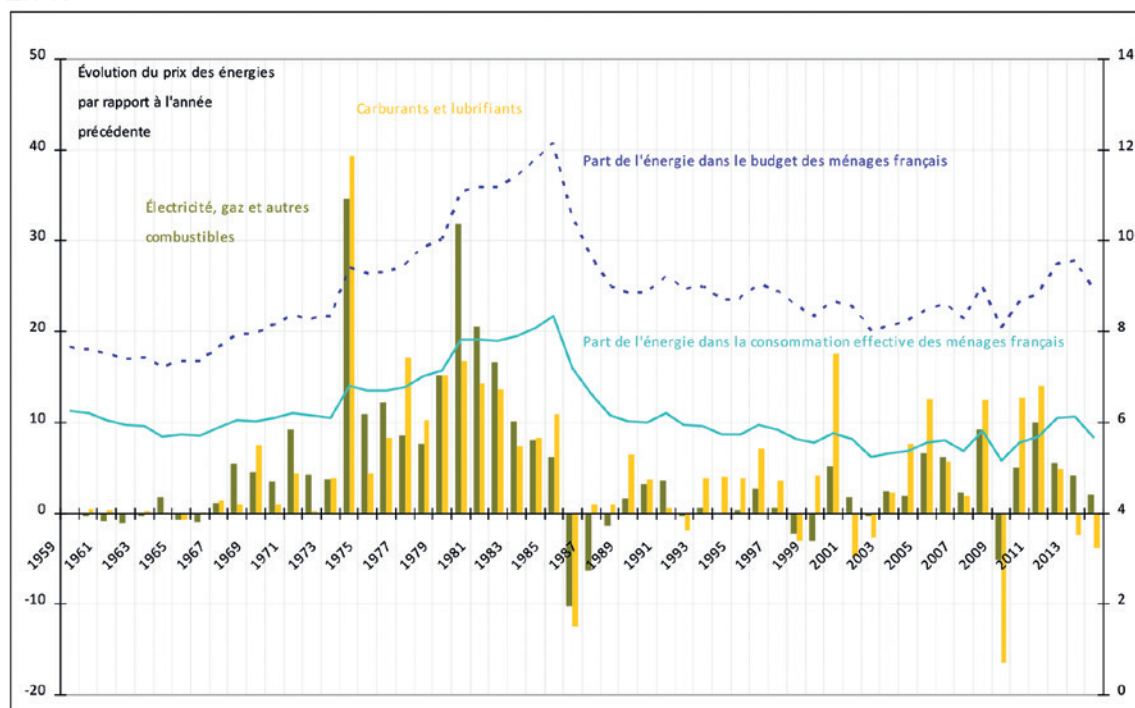
Le prix des carburants a, quant à lui, baissé pour la deuxième année consécutive (- 3,9 %, après -2,4 % entre 2012 et 2013). Cela se traduit par un recul des dépenses en carburants, qui se situent désormais en dessous de 1 300 euros, soit environ 60 euros de moins qu'en 2013.

En 2014, les ménages français consacrent ainsi 86 milliards d'euros courants à leurs achats d'énergie, soit 8,9 % de leurs dépenses réelles (hors loyers imputés et services d'intermédiation financière indirectement mesurés - Sifim).

En 2014, 5,7 % de la consommation effective des ménages français est consacrée à l'énergie, un niveau qui est en diminution pour la première fois depuis trois ans, et qui correspond à celui atteint en 2011 (voir les Figures 23 ci-dessus et 24 ci-dessous).

Figure 24 : Part de l'énergie dans le budget des ménages.

En %



Note : la ligne pleine et celle en pointillé représentent respectivement la part des dépenses énergétiques dans la consommation effective des ménages et dans le budget des ménages. Ce dernier est ici calculé comme les dépenses des ménages au sens de la Comptabilité nationale, hors loyers imputés et Sifim. La consommation effective intègre non seulement ces deux éléments, mais aussi les consommations correspondant à des dépenses individualisables faites par les institutions sans but lucratif au service des ménages (ISBLSM) et par les administrations publiques (APU) en matière, par exemple, de santé, d'enseignement, d'action sociale. Ce « budget » est proche de ce que déboursent directement les ménages pour leur consommation courante, tandis que la « consommation effective » est proche de ce dont ils bénéficient, y compris ce qui est payé par l'ensemble de la collectivité.

Les bâtons verts représentent l'évolution du prix de l'électricité, du gaz et des autres combustibles, par rapport à l'année précédente ; les bâtons jaunes, celle de l'indice des prix des carburants et lubrifiants. En 2014, les prix de l'ensemble électricité, gaz et autres combustibles augmentent ainsi de 2 % par rapport à ceux observés en 2013, tandis que les prix des carburants et lubrifiants diminuent de - 4 %.

Sources : calculs SOeS d'après l'Insee, Comptes nationaux base 2010 et SOeS, Comptes du logement 2014.

Bilans de l'énergie – Années 2014, 2013 et 2012 (Données corrigées des variations climatiques)

Bilan de l'énergie 2014

En Mtep

Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		EnRt et déchets (2)	Total
Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Brut	Raffiné	Naturel	Industriels	Production brute	Consommation		

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	0,12		0,77	0,40	0,01		H : 7,81 N : 113,75		16,27	139,14
Importations	8,18	0,60	54,18	41,51	39,94	-			0,56	145,65
Exportations	-0,15	-0,04	-0,02	-18,97	-6,32	-	-6,46		-0,21	-32,17
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	+0,09	-0,09	+0,33	-0,38	-1,20	-			-	-1,25
Soutes maritimes internationales				-1,80						-1,80
Total disponibilités (D)	8,72		55,26	20,75	32,44	-	115,78		16,62	249,57

<i>Indépendance énergétique (P/D)</i>	1,4%		1,5%		0,0%		105,0%		97,9%	55,8%
---------------------------------------	-------------	--	-------------	--	-------------	--	---------------	--	--------------	--------------

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage			54,77	-52,85	0,67		-0,06	0,24		2,76
Production d'électricité thermique	2,15	-		0,45	1,78	0,63	-3,01		2,09	4,09
Usages internes de la branche (3)	2,79	-2,24	-	-	0,44	-0,22		0,45 2,70	0,23	4,15
Pertes et ajustement	0,40	0,04	0,49	1,13	0,04	0,01		79,46	0,00	81,57
Total (A)	5,34	-2,20	55,26	-51,28	2,93	0,42	-3,07	82,85	2,32	92,57

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie (4)	1,77	2,32		0,02	0,55	0,76 -1,18		0,90	-	5,14
Industrie	0,90	0,24		2,22	9,36			9,08	1,86	23,66
Résidentiel	0,16	0,03		6,95	15,78			13,01	9,83	45,77
Tertiaire	0,11	-		3,34	5,60			11,99	0,89	21,92
Agriculture	-	-		3,46	0,32			0,75	0,15	4,67
Transports (5)	-	-		44,74	0,09			1,05	2,96	48,84
Total (B)	2,94	2,60		60,74	31,69	-0,42		36,78	15,68	150,02

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	0,08		12,63	1,28	-				13,99
------------------	----------	-------------	--	--------------	-------------	----------	--	--	--	--------------

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	8,76		77,35		35,89		116,56		18,01	256,58
<i>Dont corrections climatiques</i>	<i>0,05</i>		<i>1,34</i>		<i>3,46</i>		<i>0,78</i>		<i>1,38</i>	<i>7,01</i>

Indice de rigueur climatique = 0,791.

H : hydraulique, énergie marémotrice, éolien, photovoltaïque. N : nucléaire.

(1) PR : produits de récupération.

(2) EnRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur.

(3) Pour l'électricité, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(4) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(5) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Bilan de l'énergie 2013

En Mtep

Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		EnRt et déchets (2)	Total
Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Brut	Raffiné	Naturel	Industriels	Production brute	Consommation		

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	0,13		0,79	0,39	0,29		H : 8,33 N : 110,41		17,60	137,94
Importations	10,56	0,60	56,17	41,17	42,31	-	1,01		0,46	152,28
Exportations	-0,11	-0,01	-0,07	-19,01	-4,49	-	-5,17		-0,21	-29,06
Stocks (+ = déstockage, - = stockage)	+0,80	-0,15	-0,60	+0,01	+0,52	-			-	+0,58
Soutes maritimes internationales				-2,11						-2,11
Total disponibilités (D)	11,82		56,30	20,46	38,62	-	114,57		17,85	259,62

<i>Indépendance énergétique (P/D)</i>	<i>1,1%</i>		<i>1,5%</i>		<i>0,7%</i>		<i>103,6%</i>		<i>98,6%</i>	<i>53,1%</i>
---------------------------------------	-------------	--	-------------	--	-------------	--	---------------	--	--------------	--------------

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage			55,89	-53,88	0,67		-0,09	0,24		2,82
Production d'électricité thermique	4,92	-		0,55	2,48	0,56	-4,56		2,14	6,09
Usages internes de la branche (3)	2,86	-2,30	-	-	0,50	-0,22		0,47 2,67	0,23	4,22
Pertes et ajustement	0,66	0,13	0,41	0,29	0,94	0,02		77,45	0,00	79,88
Total (A)	8,44	-2,17	56,30	-53,04	4,58	0,36	-4,65	80,83	2,37	93,02

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie (4)	1,61	2,30		0,02	0,49	0,75 -1,12		0,90	-	4,95
Industrie	1,06	0,22		2,42	9,37	-		9,19	1,86	24,12
Résidentiel	0,15	0,03		6,96	15,80	-		13,85	9,54	46,33
Tertiaire	0,10	-		3,25	5,61	-		12,37	0,83	22,16
Agriculture	-	-		3,50	0,33	-		0,75	0,14	4,73
Transports (5)	-	-		44,88	0,09	-		1,08	2,69	48,74
Total (B)	2,91	2,54		61,03	31,69	-0,36		38,14	15,07	151,03

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	0,08		12,06	1,29	-				13,43
------------------	----------	-------------	--	--------------	-------------	----------	--	--	--	--------------

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	11,80		76,35		37,56		114,32		17,44	257,48
<i>Dont corrections climatiques</i>	<i>-0,01</i>		<i>-0,41</i>		<i>-1,06</i>		<i>-0,25</i>		<i>-0,41</i>	<i>-2,14</i>

Indice de rigueur climatique = 1,064.

H : hydraulique, énergie marémotrice, éolien, photovoltaïque. N : nucléaire.

(1) PR : produits de récupération.

(2) EnRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur.

(3) Pour l'électricité, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(4) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(5) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Bilan de l'énergie 2012

En Mtep

Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		EnRt et déchets (2)	Total
Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Brut	Raffiné	Naturel	Industriels	Production brute	Consom- mation		

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	0,12		0,81	0,41	0,45		H : 7,15 N : 110,86		16,29	186,09
Importations	10,05	0,69	56,82	43,11	42,15	-	1,03		0,42	154,28
Exportations	-0,11	-0,05	-0,18	-20,09	-5,34	-	-4,90		-0,13	-30,80
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	+0,51	-0,14	-0,41	+0,87	+0,76	-			-	+1,59
Soutes maritimes internationales				-2,32						-2,32
Total disponibilités (D)	11,07		57,04	21,98	38,02	-	114,14		16,59	258,84

Indépendance énergétique (P/D)	1,1%		1,5%		1,2%		103,4%		98,2%	52,6%
---------------------------------------	-------------	--	-------------	--	-------------	--	---------------	--	--------------	--------------

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage			56,54	-54,05	0,56		-0,10	0,26		3,21
Production d'électricité thermique	4,37	-		0,85	2,83	0,60	-4,72		2,26	6,19
Usages internes de la branche (3)	2,79	-2,21	-	-	0,39	-0,19		0,98 2,69	0,21	4,64
Pertes et ajustement	0,68	0,16	0,50	0,77	0,04	-0,10		77,40	0,00	79,45
Total (A)	7,83	-2,05	57,04	-52,43	3,82	0,30	-4,81	81,32	2,46	93,49

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie (4)	1,41	2,24		0,03	0,52	0,79 -1,10		0,91	-	4,81
Industrie	1,07	0,22		2,89	10,04	-		13,63	1,57	25,05
Résidentiel	0,15	0,03		6,98	16,46	-		12,13	9,13	46,38
Tertiaire	0,10	-		3,48	5,83	-		12,13	0,77	22,31
Agriculture	-	-		3,30	0,32	-		0,73	0,14	4,49
Transports (5)	-	-		45,21	0,09	-		1,07	2,68	49,05
Total (B)	2,74	2,48		61,90	33,25	-0,30		37,74	14,29	152,09

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	0,07		12,69	1,42	-				14,19
------------------	----------	-------------	--	--------------	-------------	----------	--	--	--	--------------

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	11,07		79,20		38,49		114,25		16,75	259,76
<i>Dont corrections climatiques</i>	<i>0,01</i>		<i>0,18</i>		<i>0,47</i>		<i>0,10</i>		<i>0,16</i>	<i>0,92</i>

Indice de rigueur climatique = 0,973.

H : hydraulique, énergie marémotrice, éolien, photovoltaïque. N : nucléaire.

(1) PR : produits de récupération.

(2) EnRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur.

(3) Pour l'électricité, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(4) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(5) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Charbon

En kt

2012		2013		2014 p	
Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	290		313		300	
Importations	16 262	1 025	17 105	893	13 278	892
Exportations	-180	-72	-182	-12	-246	-54
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	+854	-217	+1 246	-222	+58	-132
Soutes maritimes internationales						
Total disponibilités (D)	17 962		19 142		14 096	

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage						
Production d'électricité thermique	7 194	-	8 023	-	3 494	-
Usages internes de la branche	4 502	-3 285	4 627	-3 415	4 500	-3 327
Pertes et ajustement	1 083	226	1 055	183	653	55
Total (A)	12 779	-3 059	13 705	-3 232	8 647	-3 272

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie	2 284	3 355	2 598	3 446	2 864	3 484
Industrie	1 753	324	1 758	327	1 511	367
Résidentiel	249	37	242	34	262	44
Tertiaire	168	-	160	-	174	-
Agriculture	-	-	-	-	-	-
Transports (2)	-	-	-	-	-	-
Total (B)	4 454	3 716	4 759	3 807	4 811	3 895

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	80	-	83	-	90
------------------	---	----	---	----	---	----

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	17 970		19 122		14 171	
<i>Dont corrections climatiques</i>	8		-20		75	
<i>Indice de rigueur climatique</i>	0,97		1,06		0,79	

(1) PR : produits de récupération.

(2) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Pétrole

En kt

2012		2013		2014 p	
Brut	Raffiné	Brut	Raffiné	Brut	Raffiné

Approvisionnement

Production énergie primaire (P)	807	388	793	377	766	384
Importations	56 820	43 145	56 173	41 127	54 184	41 394
Exportations	-183	-19 991	-68	-18 925	-20	-18 920
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	-405	+868	-603	+22	+327	-417
Soutes maritimes internationales		-2 426		-2 214		-1 886
Total disponibilités (D)	57 039	21 984	56 295	20 387	55 257	20 555

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage	56 536	-54 020	55 890	-53 863	54 769	-52 832
Production d'électricité thermique		881		563		446
Usages internes de la branche	-	-	-	-	-	-
Pertes et ajustement	503	1 652	405	935	488	1 736
Total (A)	57 039	-51 487	56 295	-52 365	55 257	-50 650

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie		29		25		19
Industrie		3 121		2 595		2 374
Résidentiel	-	6 890	-	6 880	-	6 867
Tertiaire	-	3 427	-	3 203	-	3 302
Agriculture		3 274		3 466		3 426
Transports (1)		44 299		43 963		43 840
Total (B)		61 040		60 131		59 828

Consommation finale non énergétique

Total (C)		12 603		12 218		12 698
------------------	--	---------------	--	---------------	--	---------------

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	79 195		76 279		77 133	
<i>Dont corrections climatiques</i>	172		-403		1 321	
<i>Indice de rigueur climatique</i>	0,97		1,06		0,79	

(1) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Gaz

En GWh PCS

2012		2013		2014 p	
Naturel	Industriels	Naturel	Industriels	Naturel	Industriels

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	5 845		3 753		193	
Importations	547 439	-	549 456	-	518 676	-
Exportations	-69 312	-	-58 305	-	-82 088	-
Stocks (+=déstockage, -=stockage)	+9 859	-	+6 699	-	-15 547	-
Soutes maritimes internationales						
Total disponibilités (D)	493 831	-	501 603	-	421 234	-

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage	7 271		8 653		8 650	
Production d'électricité thermique	36 747	7 781	32 181	7 227	23 170	8 195
Usages internes de la branche	5 097	-2 510	6 441	-2 799	5 713	-2 838
Pertes et ajustement	521	-1 335	12 165	306	479	134
Total (A)	49 637	3 935	59 440	4 734	38 012	5 490

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie (1)	6 734	10318 / -14254	6 331	9776 / -14509	7 103	9862 / -15353
Industrie	130 327	-	121 673	-	121 498	-
Résidentiel Tertiaire	289 449	-	278 055	-	277 588	-
Résidentiel	213 731	-	205 186	-	204 876	-
Tertiaire	75 718	-	72 869	-	72 712	-
Agriculture	4 103	-	4 336	-	4 100	-
Transports (2)	1 190	-	1 210	-	1 228	-
Total (B)	431 803	-3 935	411 605	-4 734	411 517	-5 490

Consommation finale non énergétique

Total (C)	18 460	-	16 780	-	16 629	-
------------------	---------------	----------	---------------	----------	---------------	----------

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	499 899	487 824	466 158
<i>Dont corrections climatiques</i>	6 068	-13 779	44 924
<i>Indice de rigueur climatique</i>	0,97	1,06	0,79

(1) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(2) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Électricité (1)

En GWh

2012		2013		2014 p	
Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	H : 83098 N : 425406		H : 96821 N : 423685		H : 90832 N : 436474	
Importations	11 984		11 687		7 872	
Exportations	-56 933		-60 148		-75 063	
Stocks (+ = déstockage, - = stockage)						
Soutes maritimes internationales						
Total disponibilités (D)	463 555		472 044		460 115	

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage	-1 113	3 015	-1 076	2 743	-711	2 844
Production d'électricité thermique	-54 841		-53 004		-35 022	
Usages internes de la branche (2)		11337 31244		5521 31075		5214 31426
Pertes (3) et ajustement		36 293		40 332		37 758
Total (A)	-55 954	81 889	-54 080	79 671	-35 733	77 242

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie		10 584		10 412		10 517
Industrie		107 807		106 888		105 576
Résidentiel Tertiaire		299 546		304 899		290 654
	Résidentiel	158 538		161 082		151 287
	Tertiaire	141 008		143 817		139 367
Agriculture		8 450		8 760		8 750
Transports (4)		12 446		12 567		12 221
Total (B)		438 833		443 526		427 719

Consommation finale non énergétique

Total (C)						
------------------	--	--	--	--	--	--

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	464 767	469 117	469 227
<i>Dont corrections climatiques</i>	1 212	-2 927	9 112
<i>Indice de rigueur climatique</i>	0,97	1,06	0,79

H : Hydraulique, énergie marémotrice, éolien, photovoltaïque. N : Nucléaire.

(1) Dans ce tableau, à la différence de celui du bilan en Mtep, on ne prend en compte que l'énergie produite sous forme d'électricité. On exclut donc l'énergie thermique non récupérée sous forme de chaleur (chaleur perdue), qui représente 67% de l'énergie dégagée par les centrales nucléaires. La production obtenue s'éloigne du concept d'électricité primaire des bilans internationaux, mais se rapproche de la production utilisée dans les bilans électriques.

(2) Dans la branche énergie, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(3) Rappelons que les pertes thermiques des centrales nucléaires ne sont pas incluses ici.

(4) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Énergies renouvelables thermiques et déchets

En ktep

2012	2013	2014 p
------	------	--------

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	16 294	17 596	16 272
Importations	423	461	565
Exportations	-130	-207	-212
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	-	-	-
Soutes maritimes internationales			
Total disponibilités (D)	16 587	17 850	16 625

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage	-	-	-
Production d'électricité thermique	2 256	2 141	2 092
Usages internes de la branche	205	228	228
Pertes et ajustement	2	2	2
Total (A)	2 464	2 372	2 322

Consommation finale énergétique (corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie	-	-	-
Industrie	1 570	1 864	1 864
Résidentiel Tertiaire	9 895	10 374	10 720
Résidentiel	9 127	9 540	9 832
Tertiaire	767	834	888
Agriculture	145	145	145
Transports (1)	2 678	2 687	2 955
Total (B)	14 287	15 070	15 684

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	-	-
------------------	----------	----------	----------

Consommation totale d'énergie primaire (corrigée des variations climatiques)

Total corrigé (A + B + C)	16 751	17 442	18 006
<i>Dont corrections climatiques</i>	164	-408	1 382
<i>Indice de rigueur climatique</i>	<i>0,97</i>	<i>1,06</i>	<i>0,79</i>

Note : hydraulique, énergie marémotrice, éolien et photovoltaïque non inclus.

(1) Hors soutes maritimes internationales..

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Bilans de l'énergie – Années 2014, 2013 et 2012 (Données non corrigées des variations climatiques)

Bilan de l'énergie 2014

En Mtep

	Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		EnRt et déchets (2)
	Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Brut	Raffiné	Naturel	Industriels	Production brute	Consommation	

Approvisionnements

Production d'énergie primaire (P)	0,12		0,77	0,40	0,01		H : 7,81 N : 113,75		16,27
Importations	8,18	0,60	54,18	41,51	39,94	-	0,68		0,56
Exportations	-0,15	-0,04	-0,02	-18,97	-6,32	-	-6,46		-0,21
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	+0,09	-0,09	+0,33	-0,38	-1,20	-			-
Soutes maritimes internationales				-1,80					
Total disponibilités (D)	8,72		55,26	20,75	32,44	-	115,78		16,62
				76,01					
Indépendance énergétique (P/D)	1,4%		1,5%		0,0%		105,0%		97,9%

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage			54,77	-52,85	0,67		-0,06	0,24	
Production d'électricité thermique	2,15	-		0,45	1,78	0,63	-3,01		2,09
Usages internes de la branche (3)	2,79	-2,24	-	0,00	0,44	-0,22	0,45	2,70	0,23
Pertes et ajustement	0,40	0,04	0,49	1,13	0,04	0,01		79,46	0,00
Total (A)	5,34	-2,20	55,26	-51,28	2,93	0,42	-3,07	82,85	2,32

Consommation finale énergétique (non corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie (4)	1,77	2,32		0,02	0,55	0,76	-1,18	0,90	-
Industrie	0,90	0,24		2,17	9,02		-	9,08	1,86
Résidentiel Tertiaire	0,23	0,03		9,01	18,25		-	24,21	9,34
Agriculture	-	-		3,46	0,32		-	0,75	0,15
Transports (5)	-	-		44,74	0,09		-	1,05	2,96
Total (B)	2,90	2,60	-	59,40	28,23	-0,42		36,00	14,30

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	0,08		12,63	1,28	-			
------------------	----------	-------------	--	--------------	-------------	----------	--	--	--

Consommation totale d'énergie primaire (non corrigée des variations climatiques)

Total non corrigé (A + B + C)	8,72		76,01		32,44		115,78		16,62
Corrections climatiques	0,05		1,34		3,46		0,78		1,38

H : hydraulique, énergie marémotrice, éolien, photovoltaïque. N : nucléaire.

(1) PR : produits de récupération H : hydraulique, éolien, photovoltaïque N : nucléaire.

(2) EnRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur.

(3) Pour l'électricité, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(4) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(5) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Bilan de l'énergie 2013

En Mtep

Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		EnRt et déchets (2)	TOTAL
Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Brut	Raffiné	Naturel	Industriels	Production brute	Consommation		

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	0,13		0,79	0,39	0,29		H : 8,33 N : 110,41		17,60	137,94
Importations	10,56	0,60	56,17	41,17	42,31	-	1,01		0,46	152,28
Exportations	-0,11	-0,01	-0,07	-19,01	-4,49	-	-5,17		-0,21	-29,06
Stocks (+ = déstockage, - = stockage)	+0,80	-0,15	-0,60	+0,01	+0,52	-			-	+0,58
Soutes maritimes internationales				-2,11						-2,11
Total disponibilités (D)	11,82		56,30	20,46	38,62	-	114,57		17,85	259,62

76,76

Indépendance énergétique (P/D)	1,1%		1,5%		0,7%		103,6%		98,6%	53,1%
---------------------------------------	-------------	--	-------------	--	-------------	--	---------------	--	--------------	--------------

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage			55,89	-53,88	0,67		-0,09	0,24		2,82
Production d'électricité thermique	4,92	-		0,55	2,48	0,56	-4,56		2,14	6,09
Usages internes de la branche (3)	2,86	-2,30	-	0,00 / 0,00	0,50	-0,22		0,47 / 2,67	0,23	4,22
Pertes et ajustement	0,66	0,13	0,41	0,29	0,94	0,02		77,45	0,00	79,88
Total (A)	8,44	-2,17	56,30	-53,04	4,58	0,36	-4,65	80,83	2,37	93,02

Consommation finale énergétique (non corrigée du climat)

Sidérurgie (4)	1,61	2,30		0,02	0,49	0,75 / -1,12		0,90	-	4,95
Industrie	1,06	0,22		2,44	9,47	-		9,19	1,86	24,24
Résidentiel Tertiaire	0,26	0,03		10,60	22,37	-		26,47	10,78	70,51
Agriculture	-	-		3,50	0,33	-		0,75	0,14	4,73
Transports (5)	-	-		44,88	0,09	-		1,08	2,69	48,74
Total (B)	2,93	2,54	-	61,44	32,75	-0,36		38,39	15,48	153,17

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	0,08		12,06	1,29	-				13,43
------------------	----------	-------------	--	--------------	-------------	----------	--	--	--	--------------

Consommation totale d'énergie primaire (non corrigée des variations climatiques)

Total non corrigé (A + B + C)	11,82		76,76		38,62		114,57		17,85	259,62
Corrections climatiques	-0,01		-0,41		-1,06		-0,25		-0,41	-2,14

H : hydraulique, énergie marémotrice, éolien, photovoltaïque. N : nucléaire.

(1) PR : produits de récupération H : hydraulique, éolien, photovoltaïque N : nucléaire.

(2) EnRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur.

(3) Pour l'électricité, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(4) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(5) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Bilan de l'énergie 2012

En Mtep

Charbon		Pétrole		Gaz		Électricité		EnRt et déchets (2)	Total
Houille Lignite-PR (1)	Coke Agglomérés	Brut	Raffiné	Naturel	Industriels	Production brute	Consommation		

Approvisionnement

PRODUCTION ÉNERGIE PRIMAIRE (P)	0,12		0,81	0,41	0,45		H : 7,15 N : 110,86		16,29	136,09
Importations	10,05	0,69	56,82	43,11	42,15	-	1,03		0,42	154,28
Exportations	-0,11	-0,05	-0,18	-20,09	-5,34	-	-4,90		-0,13	-30,80
Stocks (+= déstockage, -= stockage)	+0,51	-0,14	-0,41	+0,87	+0,76	-			-	+1,59
Soutes maritimes internationales				-2,32						-2,32
Total disponibilités (D)	11,07		57,04	21,98	38,02	-	114,14		16,59	258,84
79,02										
<i>Indépendance énergétique (P/D)</i>	<i>1,1%</i>		<i>1,5%</i>		<i>1,2%</i>		<i>103,4%</i>		<i>98,2%</i>	<i>52,6%</i>

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage			56,54	-54,05	0,56		-0,10	0,26		3,21
Production d'électricité thermique	4,37	-		0,85	2,83	0,60	-4,72		2,26	6,19
Usages internes de la branche (3)	2,79	-2,21	-	0,00 / 0,00	0,39	-0,19		0,98 / 2,69	0,21	4,64
Pertes et ajustement	0,68	0,16	0,50	0,77	0,04	-0,10		77,40	0,00	79,45
Total (A)	7,83	-2,05	57,04	-52,43	3,82	0,30	-4,81	81,32	2,46	93,49

Consommation finale énergétique (non corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie (4)	1,41	2,24		0,03	0,52	0,79 / -1,10		0,91	-	4,81
Industrie	1,07	0,22		2,88	9,99	-		9,27	1,57	25,00
Résidentiel Tertiaire	0,25	0,03		10,29	21,87	-		25,66	9,73	67,83
Agriculture	-	-		3,30	0,32	-		0,73	0,14	4,49
Transports (5)	-	-		45,21	0,09	-		1,07	2,68	49,05
Total (B)	2,74	2,48	-	61,72	32,78	-0,30		37,64	14,12	151,17

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	0,07		12,69	1,42	-				14,19
------------------	----------	-------------	--	--------------	-------------	----------	--	--	--	--------------

Consommation totale d'énergie primaire (non corrigée des variations climatiques)

Total non corrigé (A + B + C)	11,07		79,02		38,02		114,14		16,59	258,84
<i>Corrections climatiques</i>	<i>0,01</i>		<i>0,18</i>		<i>0,47</i>		<i>0,10</i>		<i>0,16</i>	<i>0,92</i>

H : hydraulique, énergie marémotrice, éolien, photovoltaïque. N : nucléaire.

(1) PR : produits de récupération H : hydraulique, éolien, photovoltaïque N : nucléaire.

(2) EnRt : énergies renouvelables thermiques (bois, déchets de bois, solaire thermique...) et pompes à chaleur.

(3) Pour l'électricité, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (cokeries, usines à gaz) et de l'enrichissement d'uranium, et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(4) Pour la sidérurgie, on distingue en positif la consommation de gaz industriels et en négatif la production brute de gaz de haut-fourneau et la production de gaz de convertisseur.

(5) Hors soutes maritimes internationales.

Source : SOeS, bilan de l'énergie 2014

Bilans électriques dans les DOM – Années 2014, 2013 et 2012

Bilan électrique dans les DOM en 2014

En GWh

Guadeloupe		Martinique		Guyane		Réunion		Mayotte		Total DOM	
Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	246	81	551	671	17	1 566
Importations	-	-	-	-	-	-
Exportations	-	-	-	-	-	-
Total disponibilités (D)	246	81	551	671	17	1 566

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Production d'électricité thermique	-1 563	-1 565	-359	-2 311	-283	-6 080						
Usages internes de la branche ²	14	18	13	5	0	50						
Pertes et ajustement	195	138	96	251	10	690						
Total (A)	-1 563	299	-1 565	236	-359	135	-2 311	384	-283	26	-6 080	1 081

Consommation finale énergétique (non corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie	-	-	-	-	-	-
Industrie	85	129	42	332	588	
Résidentiel	724	602	299	1 171	2 986	
Tertiaire ³	698	675	434	1 073	2 964	
Agriculture	1	4	1	18	24	
Transports (hors routes)	-	-	-	3	3	
Total (B)	1 508	1 410	776	2 597	274	6 565

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	-	-	-	-	-
------------------	----------	----------	----------	----------	----------	----------

Consommation totale d'énergie primaire (non corrigée du climat)

Total non corrigé (A + B + C)	244	81	552	670	17	1 566
--------------------------------------	------------	-----------	------------	------------	-----------	--------------

(P) Hydraulique, éolien, photovoltaïque et géothermique.

(1) Il existe une seule raffinerie en Martinique. Afin de préserver le secret statistique, sa consommation a été regroupée avec les usages internes de la branche énergie.

(2) Dans la branche énergie, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (y compris les raffineries), et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(3) Pour Mayotte, la consommation du tertiaire porte également sur d'autres secteurs non identifiés.

Source : calculs SOeS, d'après EDF-SEI, EDM Électricité de Mayotte

Bilan électrique dans les DOM en 2013

En GWh

Guadeloupe		Martinique		Guyane		Réunion		Mayotte		Total DOM	
Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	256	76	534	803	17	1 685
Importations	-	-	-	-	-	-
Exportations	-	-	-	-	-	-
Total disponibilités (D)	256	76	534	803	17	1 685

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Production d'électricité thermique	-1 562	-1 591	-349	-2 138	-268	-5 909						
Usages internes de la branche ²	14	21	12	5	0	52						
Pertes et ajustement	93	90	24	131	15	353						
Pertes et ajustement	201	154	78	255	10	698						
Total (A)	-1 561	308	-1 591	265	-349	114	-2 138	391	-268	25	-5 909	1 104

Consommation finale énergétique (non corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie	-	-	-	-	-	-
Industrie	65	156	45	394		660
Résidentiel	745	611	300	1 145	180	2 981
Tertiaire ³	699	631	423	989	80	2 822
Agriculture	1	4	1	19		25
Transports (hors soutes)	-	-	-	3		3
Total (B)	1 510	1 402	769	2 550	260	6 491

Consommation finale non énergétique

Total (C)	-	-	-	-	-	-
-----------	---	---	---	---	---	---

Consommation totale d'énergie primaire (non corrigée du climat)

Total non corrigé (A + B + C)	257	76	534	803	17	1 686
-------------------------------	-----	----	-----	-----	----	-------

(P) Hydraulique, éolien, photovoltaïque et géothermique.

(1) Il existe une seule raffinerie en Martinique. Afin de préserver le secret statistique, sa consommation a été regroupée avec les usages internes de la branche énergie.

(2) Dans la branche énergie, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (y compris les raffineries), et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(3) Pour Mayotte, la consommation du tertiaire porte également sur d'autres secteurs non identifiés.

Source : calculs SOeS, d'après EDF-SEI, EDM Électricité de Mayotte

Bilan électrique dans les DOM en 2012

En GWh

Guadeloupe		Martinique		Guyane		Réunion		Mayotte		Total DOM	
Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation	Production brute	Consommation

Approvisionnement

Production d'énergie primaire (P)	207	81	608	703	15	1 616
Importations	-	-	-	-	-	-
Exportations	-	-	-	-	-	-
Total disponibilités (D)	207	81	608	703	15	1 616

Emplois

Consommation de la branche énergie

Raffinage ¹	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Production d'électricité thermique	-1 610	-1 600	-266	-2 241	-256	-5 973						
Usages internes de la branche ²	16	92	26	91	15	20	6	138	14	63	355	
Pertes et ajustement		203		169		75		278		11	736	
Total (A)	-1 610	311	-1 600	286	-266	110	-2 241	422	-256	25	-5 973	1 155

Consommation finale énergétique (non corrigée des variations climatiques)

Sidérurgie		-		-		-		-		-	
Industrie		62		108		23		219			412
Résidentiel		742		606		290		1 107		168	2 913
Tertiaire ³		701		678		450		1 173		78	3 080
Agriculture		1		3		1		19			24
Transports (hors routes)								3			3
Total (B)		1 507		1 395		764		2 521		246	6 433

Consommation finale non énergétique

Total (C)		-		-		-		-		-	
-----------	--	---	--	---	--	---	--	---	--	---	--

Consommation totale d'énergie primaire (non corrigée du climat)

Total non corrigé (A + B + C)	208	81	608	702	15	1 615
-------------------------------	-----	----	-----	-----	----	-------

(P) Hydraulique, éolien, photovoltaïque et géothermique.

(1) Il existe une seule raffinerie en Martinique. Afin de préserver le secret statistique, sa consommation a été regroupée avec les usages internes de la branche énergie.

(2) Dans la branche énergie, on distingue à gauche la consommation des producteurs d'énergie (y compris les raffineries), et à droite la consommation interne des centrales électriques (auxiliaires, transformateurs primaires) et la consommation de pompage.

(3) Pour Mayotte, la consommation du tertiaire porte également sur d'autres secteurs non identifiés.

Source : calculs SOeS, d'après EDF-SEI, EDM Électricité de Mayotte



THINK GOOD
ACT GOOD
CONNECT
FOR GOOD
BE HORYOU

www.Horyou.com

Horyou 

Connect for Good

Changing with the climate

Editorial

Pierre Couveinhes

Introduction

Maud Devès, researcher at Sciences Po and the Institut de Physique du Globe de Paris, secretary of the scientific board of the Association Française de Prévention des Catastrophes Naturelles and head of the climate task force

Economic and historical considerations about the climate-related issues up for negotiation

François Valérian, Conseil général de l'Économie, associate professor of finance at the Conservatoire National des Arts et Métiers

After a brief look over the main points in the consensus on climate change, the economic tools available for attenuating this change are reviewed along with their limits and the theoretical problems they raise. The question of funding a program of attenuation is tackled from the angle of the available assessments and the (few) proposals made about the means. Above all, it is placed in the geopolitical context of negotiations. Geopolitics helps us both assess the uniqueness of the EU's position about public policies for fighting against climate change and better define Europe's room to maneuver during the Paris Conference in December 2015 (COP21).

A prospective analysis of technological solutions for coping with the climate challenge

Olivier Appert, chairman of the Conseil français de l'Énergie

Energy and environmental issues are closely linked. Technology is a lever for finding solutions. Bear in mind, however, that time in matters of energy and technology is long. For this reason, the transition toward a sustainable energy system will take decades. Several techniques can be imagined, but there is no panacea for all problems.

Global warming, droughts and migrations

Thierry Gaudin, honorary engineer from École des Mines, chairman of Prospective 2100

Futurologists' warnings have not led to changes capable of forestalling the catastrophe described by the Club of Rome in the 1970s. For the human species, the worst consequence of global warming - its effects already visible - is the increase in spates of drought. For want of adequate measures to be taken soon, hundreds of millions of persons will migrate. Four proposals are made to keep the prolongation of current trends from turning into a humanitarian and environmental catastrophe. The first is a transnational fiscal system for funding programs of planetary interest. The second is to establish "basin agencies" as France has done in the areas at the highest risk of drought. The third is to set up agencies for building the infrastructure necessary for settling migrants. The fourth, more global, is to construct a new

monetary system, based on complementary currencies and a systemic, biological model.

The land sector: A solution to the problems stemming from global warming? A brilliant future for agriculture

Guillaume Benoit, engineer from École des Ponts, des Eaux et des Forêts, member of the Conseil général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces Ruraux (CGAAER)

Although the public and many decision-makers have are not yet aware of this, the "land sector" - agriculture, forests and the soil - is essential to solving the climate crisis thanks, in particular, to the advances possible in stocking and replacing carbon compounds. Even though the soil in many places has deteriorated, solutions exist at a time when climate change is menacing agriculture and food security, and the risk of large-scale migrations and instability is already perceptible. These solutions help us imagine possibilities for sustainable development, especially in Africa. Generalizing them presupposes, however, an awareness of the strategic importance of rural resources. It is also necessary: to make food security a key objective at COP 21; to better manage and develop the resources of water, the soil and the forest; to calculate the progress possible in the land sector; and to finance and achieve sustainable economic development. To be successful, climate negotiations must pay attention to all these issues.

A young engineer's thoughts after the CGE-AF-CPN conference on 30 June 2015, "Changing with the climate"

Pierre Jérémie, engineer from École des Mines

In this year of 2015, when France will be hosting in December the 21st Climate Conference (COP21), I had the privilege of attending, on 30 June, the conference on "Changing with the climate" organized by the Association Française de Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN) and the Conseil général de l'Économie (CGE). The major issues related to a changing climate were debated from economic, technical and societal approaches. This review of the conference, laced with a few digressions, focuses on three examples of economic sectors that could contribute toward a better management of the carbon cycle through actions ranging from Promethean transnational projects to solutions with a rural or local dimension. Despite the uncertainty about the scope of climate change and the amount of investments to be made, one point stands out: the best solutions are those that allow for an adaptation to climate change and an appreciable reduction of greenhouse gases.

Miscellany

France's energy balance sheet for 2014

Sous-direction des Statistiques de l'Énergie, CGDD, MEDDE

Sich mit dem Klima verändern

Leitartikel

Pierre Couveinhes

Einführung

Maud Devès, Forscherin bei Sciences Po und am Institut de Physique du Globe de Paris, Sekretärin des wissenschaftlichen Rats des französischen Verbands für die Vorbeugung gegen Naturkatastrophen und Leiterin der Arbeitsgruppe für das Klima

Wirtschaftliche und historische Bemerkungen über die Herausforderungen der bevorstehenden Klimaverhandlungen

François Valérian, Conseil général de l'Économie, assoziiertes Professor für Finanzwirtschaft am Conservatoire national des Arts et Métiers

Nach einem Überblick über die wichtigsten Elemente des Konsenses hinsichtlich des Klimawandels werden die verfügbaren wirtschaftlichen Instrumentarien zur Milderung der Erwärmung samt ihrer Grenzen und theoretischen Probleme besprochen. Die Frage der Finanzierung der Eindämmung des Klimawandels wird unter dem Gesichtswinkel der aktuellen Berechnungen behandelt, aber auch im Hinblick auf einige vorgeschlagene Mechanismen und vor allem unter Berücksichtigung der Geopolitik. Tatsächlich erlaubt es der geopolitische Blickwinkel, die europäische Besonderheit auf dem Gebiet der öffentlichen Klimapolitik einzuschätzen, und den Handlungsspielraum Europas bei der Klimakonferenz in Paris im Dezember 2015 (COP21) besser zu definieren.

Eine zukunftsorientierte Analyse der technologischen Lösungen für die klimatischen Herausforderungen

Olivier Appert, Président du Conseil français de l'Énergie

Die Herausforderungen für den Energiesektor und die Umwelt sind eng miteinander verschränkt. Die Technologie ist einer der Hebel, die mobilisiert werden müssen, um Lösungen herbeizuführen. Aber es muss daran erinnert werden, dass Zeitphasen der Energie und der Technologie lange Phasen sind. Deshalb wird der Übergang zu einem nachhaltigen Energiesystem Jahrzehnte dauern. Zahlreiche Technologien sind in Betracht zu ziehen, aber es gibt keine Universallösung für alle Probleme.

Erderwärmung, Dürreperioden und Migrationen

Thierry Gaudin, ingénieur général des Mines honoraire, Président de Prospective 2100

Den Warnungen der Zukunftsforscher folgten keine ausreichenden Umorientierungen, um dem Katastrophenszenario zu entgehen, das 1970 vom Club of Rome entworfen wurde. Für die Menschheit ist die gravierendste Folge

des Klimawandels, diejenige, deren Auswirkungen bereits sichtbar sind, nämlich die Häufung der Dürreperioden. Wenn nicht schnell Maßnahmen in ausreichendem Umfang ergriffen werden, werden Migrationsbewegungen von Hunderten Millionen Individuen die Folge sein. Vier Strategien werden vorgeschlagen, um zu verhindern, dass die Fortsetzung der gegenwärtigen Entwicklungen zu einer humanitären und ökologischen Katastrophe führt. Die erste würde in der Einführung von transnationalen Steuersystemen bestehen, um Programme zu finanzieren, die weltweite Geltung haben. Die zweite wäre die nach französischem Vorbild konzipierte Schaffung von Wasseragenturen in den Regionen, die in besonderem Maße von Dürren bedroht sind. Die dritte wäre die Einrichtung von Agenturen zur Entwicklung von Infrastrukturen, die zur Installierung der Migranten nötig sind. Die vierte und globalere schließlich bestünde in der Schaffung eines neuen Währungssystems, das von biologischen und systemischen Prinzipien geprägt wäre und auf der Einsetzung komplementärer Währungen beruhen würde.

Der Sektor der Böden : eine Lösung für Probleme, die durch die Klimaerwärmung hervorgerufen werden ?

„Eine glänzende Zukunft für die Landwirtschaft“

Guillaume Benoit, ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts, Mitglied des französischen Generalrates für Ernährung, Landwirtschaft und ländliche Gebiete (CGAER)

Obwohl die breite Öffentlichkeit und viele Entscheidungsträger sich dessen noch nicht bewusst sind, sind Landwirtschaft, Wälder und Böden (auch „Sektor der Böden“ genannt) ein wesentlicher Teil der Lösung der Klimakrise, insbesondere dank den möglichen Fortschritten in der Lagerung von Kohlendioxid und der Nutzung anderer Energiequellen. Während viele Böden sich verschlechtern haben und die Landwirtschaft und die Nahrungsmittelsicherheit durch den Klimawandel bedroht sind, bieten sich trotz der offensichtlichen Gefahr, dass Migrationen und beträchtliche Instabilitäten bevorstehen, Lösungen an. Diese Lösungen zeigen mögliche Wege für eine nachhaltige Entwicklung auf (insbesondere in Afrika). Ihre verbreitete Verwirklichung erfordert jedoch ein neues Bewusstsein von der strategischen Bedeutung der landwirtschaftlichen Ressourcen und von der Notwendigkeit, die Nahrungsmittelsicherheit zu einem zentralen Thema der COP21 zu machen. Hierzu gehören auch eine bessere Verwaltung und eine bessere Valorisierung des Umgangs mit Wasser, Böden und Wäldern, sowie die Bezifferung der möglichen Fortschritte im Sektor der Erden, und die Finanzierung und Realisierung einer nachhaltigen wirtschaftlichen Entwicklung. Doch der Erfolg der Klimaverhandlungen hängt davon ab, ob alle diese Themen integrale Bestandteile sein werden.

Überlegungen eines jungen Ingenieurs über das Kolloquium „Changer avec le climat“ vom 30. Juni 2015, das vom Conseil général de l'Économie und vom französischen Verband für die Vorbeugung gegen Naturkatastrophen, AFPCN, organisiert wurde.

Pierre Jérémie, ingénieur des mines

In diesem Jahr, 2015, in dem Frankreich im Dezember die 21. internationale Klimakonferenz, COP21, ausrichten wird, durfte ich am 30. Juni dem Kolloquium „Changer avec le climat“ beiwohnen, das von dem französischen Verband für die Vorbeugung gegen Naturkatastrophen, AFPCN, und vom Conseil général de l'Économie organisiert wurde. Thema waren die großen Herausforderungen des Klimawandels auf der Basis von wirtschaftlichen, technischen und gesellschaftlichen Zukunftsperspektiven. Das vorliegende Protokoll über die Beiträge zum

Kolloquium beschreibt (nebst einigen Exkursen) insbesondere drei Beispiele von Wirtschaftssektoren, die zu einem guten Management des Kohlenstoffkreislaufs beitragen können, und deren Tätigkeiten sowohl Projekte von prometheischen und transnationalen Ausmaßen als auch ländliche Lösungen lokaler Dimension umfassen. Angesichts der Unsicherheiten über die Entwicklung des Klimawandels und die notwendigen Investitionen gibt es nur eine sichere Perspektive : die besten Lösungen sind diejenigen, die eine wirkungsvolle Anpassung an den Klimawandel und gleichzeitig eine deutliche Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen bewirken.

SONDERTHEMA

Die Energiebilanz Frankreichs für 2014

Abteilung für Energiestatistiken, CGDD, MEDDE

Cambiar con el clima

Editorial

Pierre Couveinhes

Introducción

Maud Devès, Investigadora en la Escuela de Sciences Po y el Institut de Physique du Globe de París, Secretaria del Consejo científico de la Asociación francesa de prevención de desastres naturales y piloto del grupo de trabajo sobre el clima

Observaciones económicas e históricas sobre los desafíos de la negociación climática futura

François Valérian, Consejo general de economía, profesor asociado de finanzas del Conservatorio francés de artes y oficios

Tras un breve análisis de los principales elementos del consenso sobre el cambio climático, en el artículo se examinan los instrumentos económicos disponibles para la mitigación de este cambio, junto con sus límites y los problemas teóricos que plantean. La cuestión de la financiación de la atenuación se trata teniendo en cuenta las evaluaciones disponibles, pero también refiriéndose a algunos mecanismos propuestos y, sobre todo, reposicionándola en la geopolítica de las negociaciones.

Esta geopolítica permite apreciar la singularidad europea en materia de política pública de lucha contra el cambio climático y definir mejor los márgenes de maniobra de Europa en la Conferencia de París de diciembre de 2015 (COP21).

Análisis prospectivo de las soluciones tecnológicas al desafío climático

Olivier Appert, Presidente del Consejo francés de la energía

Los retos en materia de energía y medio ambiente están estrechamente vinculados. La tecnología es una de las palancas que se puede utilizar para aportar soluciones. Pero hay que recordar que los periodos de la energía y la tecnología son periodos largos. De esta forma, la transición hacia un sistema de energía sostenible puede tardar décadas. Muchas tecnologías son posibles, pero no existe una panacea que pueda resolver todos los problemas.

Calentamiento, sequías y migración

Thierry Gaudin, Ingeniero general de minas honorario, Presidente de Prospective 2100

Desafortunadamente, las alarmas lanzadas por los prospectivistas no provocaron nuevas orientaciones que permitieran evitar la hipótesis catastrófica descrita en 1970 por el Club de Roma. Para la especie humana, la consecuencia más grave del calentamiento climático, cuyos

efectos ya son visibles, es la multiplicación de las temporadas de sequía. Si no se toman medidas suficientes, rápidamente, se producirán flujos migratorios de millones de personas. En el artículo se proponen cuatro ejes de acción para evitar que las tendencias actuales no se conviertan en una catástrofe humanitaria y ambiental. La primera consiste en establecer regímenes fiscales transnacionales para financiar programas de interés mundial. La segunda sería la creación de agencias regionales, siguiendo el modelo francés, en las zonas más amenazadas por las sequías. La tercera sería la creación de agencias dedicadas a la construcción de las infraestructuras necesarias para la instalación de los migrantes. Por último, la cuarta, mucho más global, consistiría en construir un nuevo sistema monetario, de inspiración biológica y sistémica, basado en el establecimiento de monedas complementarias.

El sector de la tierra, ¿una solución a los problemas planteados por el calentamiento climático? "Un futuro brillante para la agricultura"

Guillaume Benoit, Ingeniero general de puentes, aguas y bosques, miembro del Consejo general de alimentación, agricultura y espacios rurales (CGAAER)

Aunque el público en general y muchos responsables no se hayan aun concienciado, la agricultura, silvicultura y los suelos (es decir, el "sector de la tierra") forman una parte esencial de la solución a la crisis climática; en particular, gracias a los progresos posibles en materia de almacenamiento de carbono y de sustitución. En un momento en que muchos suelos se han deteriorado y la agricultura y la seguridad alimentaria se ven amenazadas por las alteraciones climáticas, con un riesgo evidente de migraciones e inestabilidad a gran escala, existen varias soluciones. Estas soluciones dejan ver (en particular en África) las vías posibles para el desarrollo sostenible. No obstante, su generalización supone ser conscientes de la importancia estratégica de los recursos rurales, de la necesidad de hacer que la seguridad alimentaria sea un objetivo central de la COP 21, administrar mejor y valorar más el agua, los suelos y la selva, cuantificar los progresos posibles del sector de la tierra y financiar y apoyar el desarrollo económico sostenible. Sin embargo, para que las negociaciones climáticas tengan éxito, se deberán precisamente integrar todos estos desafíos.

Reflexiones de un joven ingeniero tras el simposio CGE - AFCPN del 30 de junio de 2015 "Cambiar con el clima"

Pierre Jérémie, Ingeniero de minas

En este año 2015, en el cual Francia organiza la conferencia sobre el clima (COP21) en diciembre, he tenido la oportunidad de asistir, el 30 de junio pasado, a la conferencia "Cambiar con el Clima", organizada conjuntamente por la Asociación francesa para la prevención de catás-

trofes naturales (AFPCN) y el Consejo General de la economía (CGE). Los principales retos del cambio climático se discutieron sobre la base de las perspectivas económicas, técnicas y sociales. Este informe del coloquio (que incluye igualmente otros temas) describe principalmente tres ejemplos de algunos sectores económicos que pueden contribuir a la gestión del ciclo de carbono, a través de acciones que van de grandes proyectos transnacionales a soluciones más modestas y de dimensión local. Frente a las incertidumbres existentes, tanto al nivel de la magnitud de los cambios climáticos como de la cantidad

de inversión necesaria, una sola cosa parece cierta: las mejores soluciones son aquellas que permiten una buena adaptación al cambio climático y una reducción considerable de las emisiones de gases de efecto invernadero.

OTROS TEMAS

El balance energético de Francia para 2014

Subdirección de estadísticas de la energía, CGDD, MEDDE

APPERT Olivier



D.R

Olivier Appert préside le Conseil français de l'Énergie, comité français du Conseil mondial de l'Énergie. Il est délégué général de l'Académie des Technologies. Ancien élève de l'École polytechnique, ingénieur général des Mines, Olivier Appert a commencé sa carrière au service des Mines de Lyon, puis a occupé

différents postes au ministère de

l'Industrie et au cabinet du Premier ministre. En 1987, il a pris en charge la responsabilité de l'activité radiocommunication mobile au sein de la société Télécommunications Radioélectriques et Téléphoniques (TRT). En 1989, il est nommé directeur des Hydrocarbures au ministère de l'Industrie, puis, en 1994, il rejoint la direction de l'IFP, où il est notamment en charge de la recherche et développement et de sa filiale, une holding technologique cotée en Bourse. En octobre 1999, il est nommé directeur de la Coopération long terme et de l'Analyse des politiques énergétiques au sein de l'Agence internationale de l'Énergie (AIE). De 2003 à avril 2015, il a été président-directeur général de l'IFP Énergie Nouvelles.

BENOIT Guillaume

Ingénieur agronome, ingénieur général des Ponts, des Eaux et des Forêts, Guillaume Benoit a consacré sa carrière aux questions de développement durable. Membre du Conseil général de l'Alimentation, de l'Agriculture et des Espaces ruraux, il a coordonné les rapports : « L'eau et la sécurité alimentaire : défis et solutions », « La France et ses campagnes 2025-2050 : regards croisés filières et territoires », et « Les contributions possibles de l'agriculture et de la forêt à la lutte contre le changement climatique ». Directeur du Plan Bleu de 1998 à 2006, il a assuré la direction de l'élaboration du 2^{ème} grand rapport de prospective portant sur l'environnement et le développement dans le Bassin méditerranéen. Cheville ouvrière de l'étude prospective « Agriculture 2030 : quel avenir pour le Maroc ? », il a apporté son appui à la réflexion stratégique sur la politique agricole et rurale de ce pays. Il avait été auparavant commissaire à l'aménagement des Hauts de la Réunion (DATAR) et directeur du parc national des Cévennes.

GAUDIN Thierry

Polytechnicien (promotion 1959), ingénieur général des Mines honoraire (École des Mines de Paris) et Docteur en Sciences de l'information et de la communication (Université de Paris X Nanterre (2008), où il a soutenu une thèse sur travaux intitulée « Innovation et prospective : la pensée anticipatrice »), Thierry Gaudin est président de « Prospective 2100 ».

- de 1965 à 1969, il a été chargé des questions industrielles et de recherche auprès du Préfet de la Région du Nord ;
- de 1971 à 1981, il a exercé au sein du ministère français de l'Industrie, où il était en charge de la construction d'une politique d'innovation ;
- de 1982 à 1992, il a dirigé, après l'avoir fondé, le Centre de Prospective et d'Évaluation du ministère de la Recherche et de la Technologie, dont l'une des missions est d'assurer une veille technologique internationale. Il élabore une prospective mondiale qui est publiée en 1990, chez Payot, sous le titre « 2100, récit du prochain siècle » ;
- depuis 2005 (après son admission à la retraite), il est membre associé du CGE (ex-Conseil général des Mines, devenu aujourd'hui le Conseil général de l'Économie), membre du Club de Rome (Bruxelles) et membre du comité directeur de la World Futures Studies Federation (WFSF).

JÉRÉMIE Pierre

Ingénieur des mines (Promotion 2013), Pierre Jérémie est également le coauteur de « Flexibilité de la demande électrique : quel rôle pour le foyer connecté ? », *Gazette de la société et des Techniques*, n°79, novembre 2014.

VALÉRIAN François

En fonction au Conseil général de l'Économie, François Valérian est polytechnicien, ingénieur en chef des mines et docteur en Histoire. Il a été banquier d'affaires et associé du cabinet Accenture. Il est professeur associé de finance au Conservatoire National des Arts et Métiers et est responsable de l'enseignement de supervision financière à Mines ParisTech. Il enseigne aussi à l'Institut d'Études Politiques et à l'Université Paris Dauphine. Il est l'auteur de plusieurs ouvrages portant sur des sujets historiques, économiques ou financiers.

SOCIAL GOOD IN ACTION

La Fondation Horyou est un organisme sans but lucratif, enregistré à Genève, en Suisse (RC: CH-660.0.101.014-0) et reconnu d'utilité publique qui accorde son soutien concret aux personnes et organisations qui font la différence partout dans le monde. Elle appuie des contributions quotidiennes à l'amélioration des conditions de vie, en offrant notamment des bourses et du financement aux efforts humanitaires, ainsi qu'aux chercheurs et aux actions qui visent à faire avancer la science, les arts et l'éducation et en agissant sur le terrain à chaque fois que cela est nécessaire.

Tous les dons sont les bienvenus et tous mis ensemble contribueront à faire aboutir de grandes réalisations.

Horyou
FOUNDATION

www.horyoufoundation.org

Les donations peuvent s'effectuer en EUR ou toute autre devise reconnue sur le compte suivant :

IBAN: CH87 0024 0240 5158 3760 G **BIC/SWIFT:** UBSWCHZH80A

Au nom de tous ceux qui agissent pour un monde meilleur, nous vous remercions de votre généreuse contribution.

Rue de L'École-de-chimie, 2 CH-1205 Genève Suisse + 41 22 321 98 20