



HAL
open science

Les scénarios sur l'énergie et le climat. L'avant et l'après-Copenhague

Patrick Criqui, Constantin Ilasca

► **To cite this version:**

Patrick Criqui, Constantin Ilasca. Les scénarios sur l'énergie et le climat. L'avant et l'après-Copenhague. *Futuribles*, 2011, 373, pp.47-64. halshs-00582431

HAL Id: halshs-00582431

<https://shs.hal.science/halshs-00582431>

Submitted on 4 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



ÉCONOMIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE
ET DE L'ÉNERGIE

Avant et après Copenhague Scénarios pour l'énergie et le climat

Patrick Criqui
Constantin Ilasca

février 2011

note de travail n° 1/2011

Avant et après Copenhague : scénarios pour l'énergie et le climat

Les scénarios pour le développement énergétique à long terme et les émissions de gaz à effet de serre associées ont acquis un rôle particulier par rapport aux autres familles de scénarios, qui le plus souvent permettent essentiellement d'éclairer l'avenir et d'informer les décisions par une caractérisation de l'environnement économique futur. Dans le cas de l'énergie et du climat il s'agit avant tout de fournir une information essentielle pour la négociation internationale, dans l'identification des objectifs globaux communs comme dans celle de la déclinaison nationale de ces objectifs. Les scénarios sont donc un enjeu dans une négociation essentielle sur l'agenda des politiques internationales.

Dans ce qui suit nous tenterons de décrire les développements des scénarios depuis la préparation du Quatrième rapport d'évaluation du GIEC. Il s'agit en quelque sorte de mettre à jour un article similaire préparé pour *Futuribles* en 2006¹, mais dans cette revue des travaux il faut prendre en compte le changement de perspective survenu depuis la conférence de Copenhague. Celle-ci marque à la fois l'arrivée au premier plan de la négociation des pays émergents et donc, pour un temps du moins, le passage d'une vision *top-down* de la construction des scénarios à partir des objectifs globaux, à une vision *bottom-up*, à partir des politiques nationales.

1. Avant Copenhague : prospective des émissions de GES et des politiques d'atténuation

Après la publication du Quatrième rapport d'évaluation du GIEC en 2007, plusieurs grandes études sur les scénarios d'émission ont été entreprises par des organisations internationales, ou commanditées par elles. Elles ont pour objectif d'évaluer certains des aspects de la mise en œuvre et des coûts des politiques d'atténuation du changement climatique. Sans être exhaustif on analysera ci-dessous des études élaborées entre 2007 et 2010 et publiées pour la plupart dans la période précédant immédiatement la conférence de Copenhague. Chacune de ces études explore une ou plusieurs dimensions des politiques climatiques, le plus souvent à partir des profils d'émission identifiés dans le Quatrième rapport du GIEC (Tableau 1).

Tableau 1 : Les scénarios d'émission et leurs impacts selon le Quatrième Rapport d'Evaluation du GIEC

Catégorie	Concentration de CO ₂ au niveau de stabilisation (2005 = 379 ppm) ^b	Concentration d'équivalent-CO ₂ au niveau de stabilisation, y compris GES et aérosols (2005 = 375 ppm) ^b	Année du pic d'émissions de CO ₂ ^{a,c}	Variation des émissions mondiales de CO ₂ en 2050 (par rapport aux émissions en 2000) ^{a,c}	Écart entre la température moyenne du globe à l'équilibre et la température préindustrielle, selon la valeur la plus probable de la sensibilité du climat ^{d,e}	Écart entre le niveau moyen de la mer à l'équilibre et le niveau préindustriel dû à la seule dilatation thermique ^f	Nombre de scénarios évalués
	ppm	ppm	année	%	°C	mètres	
I	350-400	445-490	2000-2015	- 85 à - 50	2,0 - 2,4	0,4 - 1,4	6
II	400-440	490-535	2000-2020	- 60 à - 30	2,4 - 2,8	0,5 - 1,7	18
III	440-485	535-590	2010-2030	- 30 à + 5	2,8 - 3,2	0,6 - 1,9	21
IV	485-570	590-710	2020-2060	+ 10 à + 60	3,2 - 4,0	0,6 - 2,4	118
V	570-660	710-855	2050-2080	+ 25 à + 85	4,0 - 4,9	0,8 - 2,9	9
VI	660-790	855-1 130	2060-2090	+ 90 à +140	4,9 - 6,1	1,0 - 3,7	5

Source : GIEC, *Quatrième Rapport d'Evaluation, Résumé, Tableau 5.1*

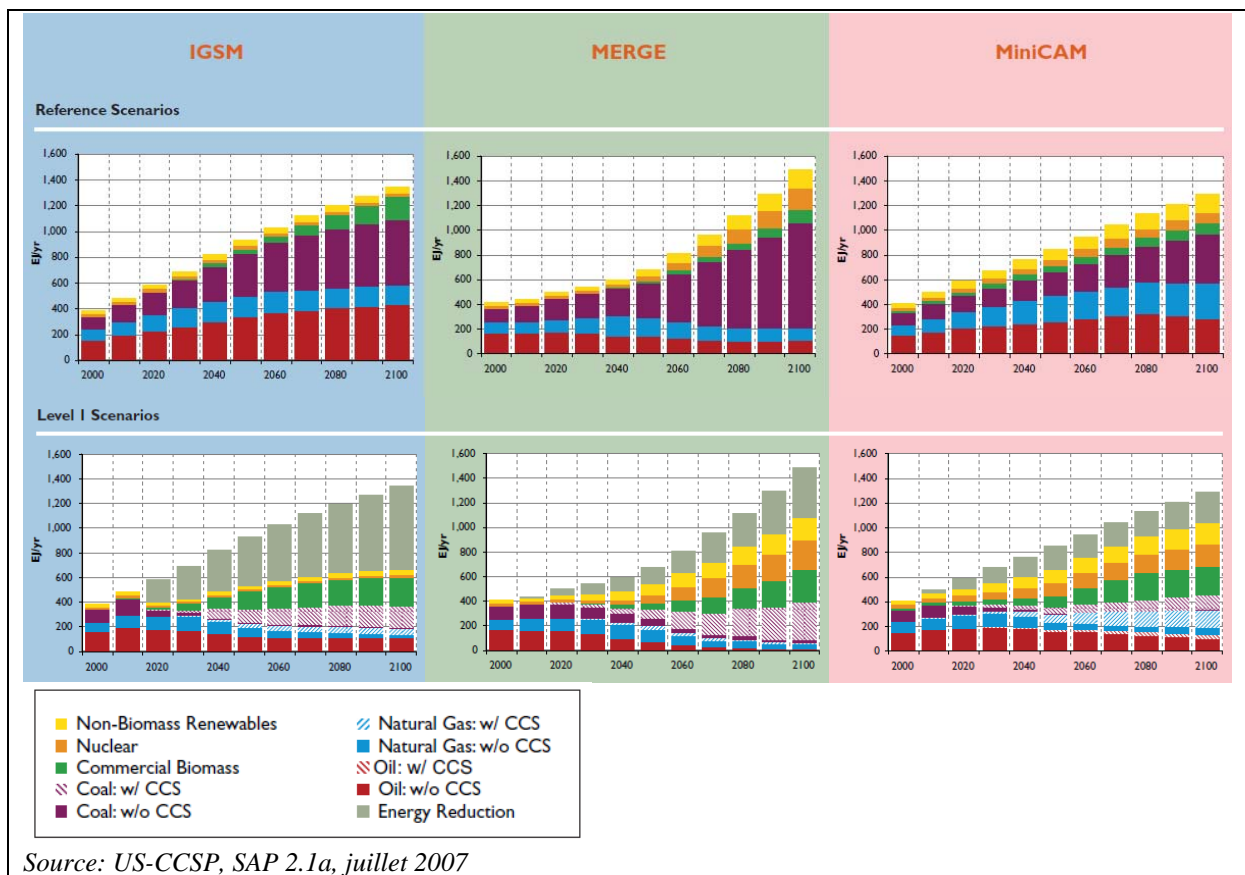
Les transformations du système énergétique mondial sous contrainte d'émission à long terme

¹ Criqui P., 2006. Effet de serre : quelques scénarios, *Futuribles*, n° 315, p. 65-78.

Mis en œuvre sous l'administration Bush, le US Climate Change Science Program a organisé l'expertise scientifique sur le changement climatique, avec un rapport sur les scénarios d'émission pour le XXI^e siècle². Des jeux de scénarios contrastés ont été développés à partir de trois modèles différents : IGSM (MIT), MERGE (Stanford) et MiniCAM (Université du Maryland). Ils visent en particulier à simuler les transformations du système énergétique pour différents niveaux de contrainte d'émission (voir en Figure 1 les deux scénarios extrêmes – Référence et 450 ppm CO_{2e} – pour les trois modèles).

La démarche est celle de la construction de variantes de plus en plus contraintes, à partir d'une projection de référence construite par chacun des groupes de modélisation. Elle permet de faire apparaître les changements nécessaires dans le système énergétique mondial, mais aussi d'identifier l'intensité du signal économique nécessaire, sous forme d'un prix du carbone, pour déclencher ces changements. Les résultats montrent des écarts importants selon les modèles, y compris dans la projection de Référence, avec par exemple des contributions du charbon ou des profils de production pétrolière très contrastés.

Figure 1 : L'énergie au XXI^e siècle pour trois modèles et deux scénarios extrêmes d'émissions (Référence = sans politique ; Niveau 1 = 450 ppm CO_{2e})



Pour ce qui est de la valeur du carbone associée aux différents niveaux de contrainte, les résultats sont également contrastés. Ils permettent cependant d'identifier des ordres de grandeur, par exemple une valeur du carbone comprise entre 130 et 230 \$/tCO₂ en 2050, pour le scénario le plus sévère, celui d'une stabilisation à 450 ppm CO_{2e}. L'une des principales

² Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations, US-CCSP, 10 July 2007 <http://www.climatechange.gov/Library/sap/sap2-1/finalreport/sap2-1a-final-all.pdf>

conclusions de ce type d'étude est d'abord que la contrainte d'émission ne peut manquer d'affecter profondément et durablement le profil du développement énergétique mondial : d'abord en limitant la croissance de la consommation totale d'énergie, ensuite en réduisant fortement le recours aux énergies fossiles. Au point par exemple qu'une forte contrainte carbone pourrait rendre le pétrole à nouveau abondant (relativement à la demande) et bon marché, tout au long du siècle en cours.

Les conséquences économiques des différents « régimes climatiques »

L'étude du FMI³⁴ examine dans un premier temps les coûts du changement climatique pour les différentes régions du monde dans un scénario sans politique d'atténuation. Puis elle explore une seule trajectoire de contrainte d'émission, qui conduit à un retour en 2050 au niveau d'émission de 2002, enfin à une réduction de 60 % par rapport à ce même niveau en 2100. C'est un scénario de contrainte modérée, permettant d'atteindre un profil de concentration de 550 ppm CO₂e. En revanche l'étude explore les conséquences de plusieurs modes de régulation internationale sur les coûts macro-économiques des politiques d'atténuation dans les grandes régions du monde.

Trois régimes de régulation mondiale des émissions sont donc étudiés : i. une taxe carbone mondiale (ou de manière équivalente, un système hybride de quotas nationaux avec prix-plafond, conduisant à un prix homogène internationalement), ii. une allocation de quotas nationaux en fonction des émissions initiales (*grandfathering*), iii. une allocation des quotas en fonction de la population. A partir des simulations menées avec le modèle G-cubed, les coûts sont appréhendés comme la déviation de la consommation ou de la production de chaque région, actualisée sur la période 2010-2040.

Tableau 2 : Coût d'un scénario 550 CO₂e pour les différentes régions du monde et trois régimes climatiques (pertes actualisées jusqu'en 2050, en % du PIB par rapport au Baseline)

	Uniform Carbon Tax and Hybrid Policy	Cap-and-Trade Allocation by Initial Emission Shares	Cap-and-Trade Allocation by Population Shares
United States (130.1)	-2.1	-1.9	-2.6
Japan (80.0)	-1.5	-1.7	-2.1
Western Europe (109.9)	-2.0	-2.0	-2.5
Eastern Europe and Russia (131.8)	-2.8	-3.0	-3.9
China (404.5)	-4.8	-1.6	-2.1
Other emerging and developing economies (353.6)	-2.4	-3.3	-1.7
Organization of Petroleum Exporting Countries (196.0)	-16.2	-15.8	-14.6
World—GNP weighted (169.9)	-2.6	-2.6	-2.8
World—Population weighted (312.8)	-4.0	-3.9	-3.1

Source: IMF staff estimates.
¹Numbers in parentheses denote the percent change in real GNP between 2007 and 2040 in the baseline.

Dans l'hypothèse de la taxe internationale, les coûts reflètent avant tout la structure des systèmes énergétiques des différents pays : l'impact en termes de perte de PIB augmente avec l'intensité énergétique du PIB et la part des énergies fossiles dans le bouquet énergétique. Pour les pays producteurs, l'impact de la contrainte sur la production et l'exportation des énergies fossiles est évidemment très significatif. En raison des transferts

³ IMF, World Economic Outlook 2008, Chapter 4, Climate Change and the Global Economy

<http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2008/01/pdf/text.pdf>

⁴ Note de synthèse: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/fandd/2008/03/tamirisa.htm>

financiers auxquels les régimes avec allocation de quotas donnent lieu du fait des échanges de permis, il apparaît qu'ils diminuent l'impact direct des politiques d'atténuation dans les régions en développement. Le système avec allocation selon le poids de chaque pays dans la population mondiale est évidemment particulièrement favorable aux économies émergentes, hors Chine.

Impacts régionaux du changement climatique et politiques d'atténuation « sur mesure »

Mobilisant différentes approches et modèles pour caractériser les coûts du changement climatique, puis les trajectoires d'émission et les coûts ou valeurs du carbone associées, le *Rapport sur le développement dans le monde 2010*⁵ de la Banque mondiale (paru avant Copenhague en 2009) explore la question du point de vue des pays en développement. Il met au premier plan l'examen des impacts du changement climatique pour l'agriculture ainsi que la question centrale pour les pays du sud des conséquences potentielles de la concurrence énergie-alimentation : si l'accent était mis trop exclusivement sur les réductions d'émission de l'énergie, alors le risque serait grand de voir trop progresser les surfaces utilisées pour la production des agro-carburants et reculer les forêts et les pâturages qui stockent le carbone.

Deux scénarios de réduction sont explorés, 450 et 550 ppm CO₂e, et des indications sont données sur les coûts à l'horizon 2030 et sur le prix du carbone correspondant, tels qu'estimés par différents modèles. La faisabilité du scénario 450 CO₂e, le plus proche de l'objectif global de 2°C évoqué dans les négociations internationales, est examinée avec attention. Il apparaît en particulier que sa mise en œuvre serait soumise à deux conditions : d'une part que tous les pays participent immédiatement à l'effort de réduction, et d'autre part qu'il soit possible de gérer un profil global d'émission en *overshooting*, c'est à dire avec un dépassement temporaire du niveau de concentration, suivi d'émissions très faibles ou négatives en fin de période ; ces émissions nulles ou négatives supposent un développement massif de la production d'énergie par la biomasse, avec stockage du carbone en sous-sol.

De plus, un des messages principaux repose sur la nécessaire différenciation des politiques climatiques qui doivent être « sur mesure » (*tailor-made*), de manière adaptée aux impacts et contraintes régionales. Les axes structurants identifiés pour les politiques climatiques des pays à bas revenu, par exemple, sont la promotion de l'accès à l'énergie, mais avec une logique de prix ou de tarification rendant compte des coûts réels et des externalités négatives. Pour les pays à revenu moyen l'accent est mis sur la nécessité d'inscrire le développement des infrastructures urbaines et de transport dans une logique bas carbone ; enfin, dans les pays à revenu élevé, une des dimensions des politiques doit consister à réformer les modes de vie et de consommation trop intensifs en énergie.

Contrainte d'émission, politiques de R&D et changement technique

L'OCDE explore plusieurs scénarios de contrainte d'émission, 650 ppm CO₂e, 550 ppm (avec et sans *overshooting*) et 50 % de réduction en 2050 (Figure 2)⁶. Elle identifie tout d'abord la nécessité de combiner différents types d'instruments de régulation : des taxes ou quotas pour donner un prix au carbone, un effort de R&D pour diminuer le coût des technologies « bas

⁵ World Development Report 2010: Development and climate change

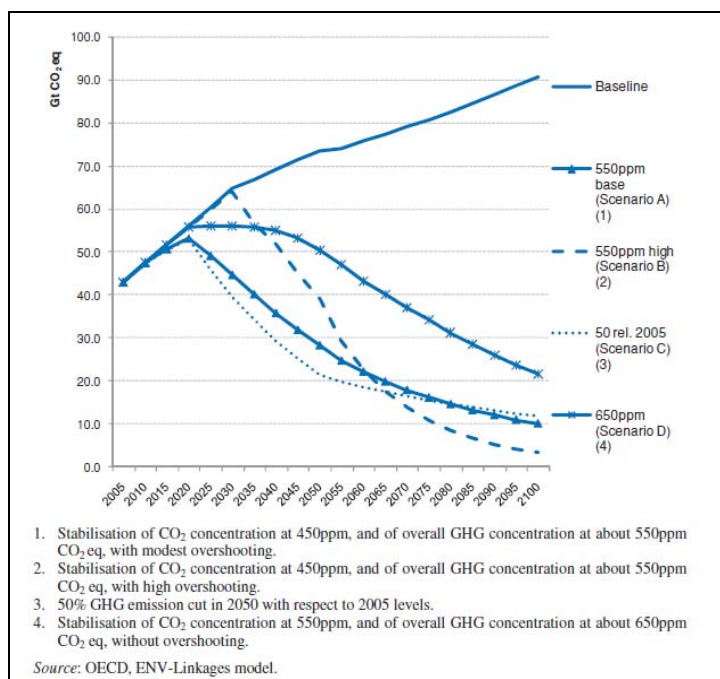
<http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010/Resources/5287678-1226014527953/WDR10-Full-Text.pdf>

⁶ The economics of climate change mitigation:

http://www.oecd.org/document/56/0,3746,en_2649_34361_43705336_1_1_1_1,00.html

carbone », la mise en œuvre de normes et standards (*command and control*), lorsque les coûts de transaction biaisent les décisions des acteurs.

Figure 2 : Les scénarios d'émission de l'OCDE



L'impact des scénarios avec contrainte d'émission sur la R&D et la technologie est analysé en deux temps. Le modèle WITCH (*World Induced Technological Change Hybrid*) est utilisé tout d'abord pour analyser l'impact d'une contrainte carbone sur l'effort public de R&D pour l'énergie : alors que celui-ci avait connu un maximum à 0,1 % du PIB mondial en 1980, il est aujourd'hui redescendu à seulement 0,03 % du PIB mondial ; dans un scénario de forte contrainte carbone, le modèle projette une remontée à 0,07 % en 2050. Mais l'impact positif du progrès technique induit par le supplément de R&D sur le coût total du programme reste très difficile à quantifier. Il renvoie en effet à trois des concepts majeurs de l'économie du changement technique : la productivité de la recherche, par nature incertaine ; les effets d'apprentissage (ou *LBD, learning by doing*), difficiles à mesurer ; enfin l'existence d'innovations radicales susceptibles de faire émerger des technologies *backstop*, c'est-à-dire repoussant les contraintes d'offre à partir d'un certain prix de l'énergie. Les résultats du modèle WITCH montrent que la possibilité de technologies *backstop* est une condition essentielle d'une réduction significative des coûts de réduction. Cette hypothèse justifierait un effort en matière de R&D très important dès les premières années de la simulation, le surcoût initial étant plus que compensé par les gains à long terme de la mise en œuvre des technologies d'innovation radicale.

Cette approche par les technologies est par ailleurs au cœur des travaux menés par l'Agence internationale de l'énergie dans ses *World Energy Outlook* et surtout *Energy Technology Perspective (ETP)*. Le dernier rapport ETP détaille le scénario BLUE Map, conduisant à une réduction des émissions énergétiques de 50 % en 2050 par rapport à 2005. Il décrit en particulier l'ensemble des transformations des systèmes énergétiques induites par la contrainte d'émission, secteur par secteur, puis région par région. L'accent est mis sur le rôle central de l'efficacité énergétique et la nécessaire mobilisation d'un portefeuille diversifié de technologies énergétiques. Au sein de ce portefeuille d'actions, les plus coûteuses en 2050 correspondent à un coût marginal de 175 \$/tCO₂.

La valeur tutélaire du carbone comme « valeur duale » des contraintes d'émission

La question du coût marginal de réduction associé à une contrainte d'émission n'est pas anecdotique. Elle est au contraire essentielle pour la définition des politiques publiques. Dans une approche coût-efficacité, fixant un objectif d'émission « de précaution », le coût de la dernière option à mettre en œuvre représente bien le consentement à payer de la société dans la lutte contre le changement climatique. C'est donc la base du calcul de la « valeur du carbone » qu'il convient d'introduire dans tout calcul en économie publique (par exemple pour les décisions d'investissement de l'Etat), mais qui devrait aussi constituer la base d'une fiscalité environnementale pigouvienne. La valeur du carbone constitue la « valeur duale » de la contrainte d'émission de chaque scénario.

C'est pourquoi, dans la lignée des travaux du Commissariat au plan puis du Centre d'analyse stratégique sur les grands paramètres du calcul économique publique (taux d'actualisation, coûts externes des transports...) fut entreprise en 2007 une étude sur la valeur tutélaire du carbone⁷. Elle visait à identifier la valeur du carbone à introduire dans les choix d'investissement publics, afin de les rendre conformes à la politique de réduction des émissions en France, dans le contexte de trois scénarios pour l'environnement international : S1 = Europe Seule, S2 = 550 ppm et S3 = 450 ppm CO₂e. Les simulations de trois modèles différents (IMACLIM, POLES et GEMINI) furent utilisées, ainsi que plusieurs contributions d'ordre théorique. Ces travaux conduisent à une valeur repère ou « valeur tutélaire du carbone », consensuelle entre les parties prenantes à l'exercice. Le point de convergence est une valeur de 100 €/tCO₂ en 2050 (Tableau 3), qui sera reprise en 2009 dans les travaux de la commission en charge de l'élaboration de la Contribution Climat-Energie.

Tableau 3 : Valeur tutélaire du carbone pour la France (euros 2008 Commission Quinet)

	2010	2020	2030	2050
Valeur recommandée	32	56	100	200 (150-350)
Valeur actuelle (valeur « Boiteux »)	32 ¹	43	58	104

Source : Centre d'analyse stratégique

2. Des scénarios de transition « post-carbone » articulant politique climatique, soutenabilité énergétique et « styles de développement »

Les études présentées plus haut donnent une image de la diversité des travaux entrepris aux cours des dernières années. La plupart se concentrent sur l'évaluation des coûts – macro-économiques ou sectoriels – des politiques d'atténuation du changement climatique, dans les différentes régions, sous différentes conditions de politique. Ce faisant, elles laissent dans l'ombre des questions fondamentales et en particulier celles qui renvoient à l'articulation ascendante et descendante entre les contraintes globales – de ressources énergétiques ou d'environnement – et les « styles de développement » de chaque région – tels que caractérisés par les modèles de consommation, les choix d'aménagement et les technologies.

⁷ La valeur tutélaire du carbone, Rapport de la commission Quinet :

http://www.strategie.gouv.fr/article.php?id_article=830

De plus les risques géopolitiques associés aux scénarios énergétiques « au fil de l'eau » sont en général mal abordés dans les travaux de modélisation, tout comme l'analyse de styles de développement s'écartant du modèle actuellement dominant, celui d'une consommation élevée de biens de consommation durables fordistes. Les « Scénarios pour un monde post-carbone⁸ » achevés en 2009 par le CIRED, le LEPII et ENERDATA constituent une tentative de description plus fine de scénarios incorporant de nouvelles dimensions dans la description des futurs post-carbone. Trois scénarios principaux sont développés : une projection de Référence permettant d'identifier les risques de non-soutenabilité et de constituer un point de repère pour l'évaluation des trajectoires alternatives ; un scénario de contrainte d'émission 450 ppm CO₂, sans inflexion dans les modèles de développement, donc dit « mimétique » ; un scénario « non mimétique » avec des hypothèses contrastées sur les modèles de consommation, l'aménagement et les technologies. Ces scénarios peuvent être analysés selon trois axes : le développement énergétique, la macro-économie et l'industrie dans la transition, l'aménagement du territoire et le développement urbain.

De la référence aux scénarios 450 ppm : un changement de paradigme énergétique

Les scénarios énergétiques sont simulés avec le modèle POLES⁹ pour la projection du système énergétique mondial, à partir d'hypothèses sur la croissance, les ressources énergétiques et les technologies disponibles. La projection de référence, sans politique climatique, conduit à un doublement de la consommation d'énergie et des émissions en 2050, donc à un processus de changement climatique accéléré, avec une augmentation de température attendue de 5-6°C sur le long terme. Le retour du charbon est en effet la réponse apportée à la raréfaction croissante des hydrocarbures et c'est la principale cause de l'augmentation des émissions. Du côté du pétrole la production est poussée à son maximum avec une production conventionnelle plafonnant à 100 Mbj et un recours à des quantités très importantes de pétroles non conventionnels. Le prix du pétrole reste durablement au-dessus de 100 \$/bl, alors même que les risques de chocs violents sur les prix sont très élevés.

Les deux scénarios de contrainte carbone permettent de retrouver un profil de développement énergétique durable, tant pour les émissions de CO₂ que pour la production pétrolière. En effet celle-ci est alors contrainte en amont par une demande très réduite et les prix du pétrole s'établissent durablement à un niveau de l'ordre de 60 \$/bl. Le scénario 450 ppm non mimétique se caractérise par des hypothèses très favorables au développement des énergies renouvelables, une production plus décentralisée dans les zones d'habitat diffus et fondée sur des réseaux optimisés dans les zones denses. La taille des logements et les taux d'équipement des ménages en automobile sont plus faibles que dans le scénario mimétique. Par ailleurs un effort particulier est entrepris pour le développement des bâtiments basse énergie et les infrastructures de transport collectif. Le signal prix à introduire pour atteindre l'objectif d'émission est alors plus faible que dans le scénario mimétique, 300 € contre 350 €/tCO₂ en 2050.

La macro-économie et l'industrie dans la transition vers le nouveau paradigme

⁸ Scénarios développés pour l'IDDRI et pour Entreprises Pour l'Environnement

<http://www.iddri.org/Id드리/Fondation/Programme-de-recherche-Scenarios-sous-contrainte-carbone>

⁹ Modèle énergétique mondial initialement développé par le LEPII-EDDEN, puis par ENERDATA et le Centre Commun de Recherche de la Commission IPTS-Séville

Les simulations menées avec le modèle IMACLIM¹⁰ permettent d'analyser les trajectoires des différentes économies dans le processus de transition vers une économie post-carbone. Dans la majeure partie des régions, les coûts macro-économiques par rapport à la référence apparaissent dans les premières décennies. Mais, pour les grands pays émergents en particulier, ces coûts à moyen terme sont compensés, à plus long terme, par des gains importants, liés à l'évitement d'une situation de vulnérabilité aux chocs énergétiques attendus dans le scénario de référence. Le processus de transition vers une économie post-carbone, peut donc s'interpréter comme un investissement, dont les bénéfices sont retirés à l'horizon 2050 à travers des importations énergétiques réduites, en volume et en valeur. Malgré le recyclage supposé du produit des régulations économiques des émissions (taxes ou quotas) le coût de transition pour les pays en développement demeure important à court terme et la participation de ces pays à l'effort collectif appelle sans doute des mesures d'accompagnement nationales ou internationales adaptées.

Du point de vue des industries intensives en énergie, du secteur électrique ou productrices de « matériaux structurels » (acier, ciment, verre, aluminium), la transition constitue certainement un défi, mais elle n'implique pas une réduction massive d'activité, au contraire. Pour le secteur électrique, la réduction de la demande globale d'énergie ne se répercute que très partiellement sur la demande d'électricité car ce vecteur constitue un support de la décarbonisation de l'économie (avec les véhicules électriques par exemple) ; en revanche le mix technologique de la production d'électricité est évidemment profondément bouleversé, avec la progression des renouvelables, du nucléaire et de la capture et stockage du carbone. Pour les industries de matériaux, la demande globale est peu affectée, car les investissements massifs nécessaires au renouvellement des infrastructures et des parcs de logements compensent les pertes sur le marché de l'automobile. L'industrie de l'acier peut réduire significativement ses émissions par unité de produit car elle dispose potentiellement de technologies bas-carbone. L'industrie du ciment voit ses marchés croître, malgré des options technologiques *a priori* moins ouvertes.

Styles de développement et d'organisation spatiale dans un scénario « non mimétique »

L'idée centrale du scénario non mimétique est que la transition post-carbone sera menée d'autant plus facilement qu'il sera possible de s'écarter du modèle de consommation actuel des pays du Nord, celui d'une consommation fondée essentiellement sur des biens d'équipement des ménages fortement consommateurs d'énergie, dans un modèle urbain favorisant l'étalement et l'usage intensif de l'automobile. Dans le scénario non mimétique, plusieurs types d'aménagement pour les sociétés post-carbone. Deux modèles sont développés avec : des villes peu denses équipées de réseaux de transport multimodaux et des réseaux énergétiques intelligents permettant de maximiser les apports des énergies renouvelables ; des villes compactes, correspondant largement au « modèle asiatique », également équipées d'infrastructures intelligentes et permettant de limiter structurellement les besoins de déplacement. Le développement du scénario ainsi défini permet d'incorporer certains des éléments de nouveaux styles de développement, propices à une transition post-carbone adaptée aux caractéristiques de chaque région.

3. Après Copenhague : la tension entre objectifs globaux et engagements nationaux

La conférence de Copenhague marque un tournant dans la négociation internationale, que beaucoup interprètent comme le passage d'une logique *top-down*, la vision européenne, à une

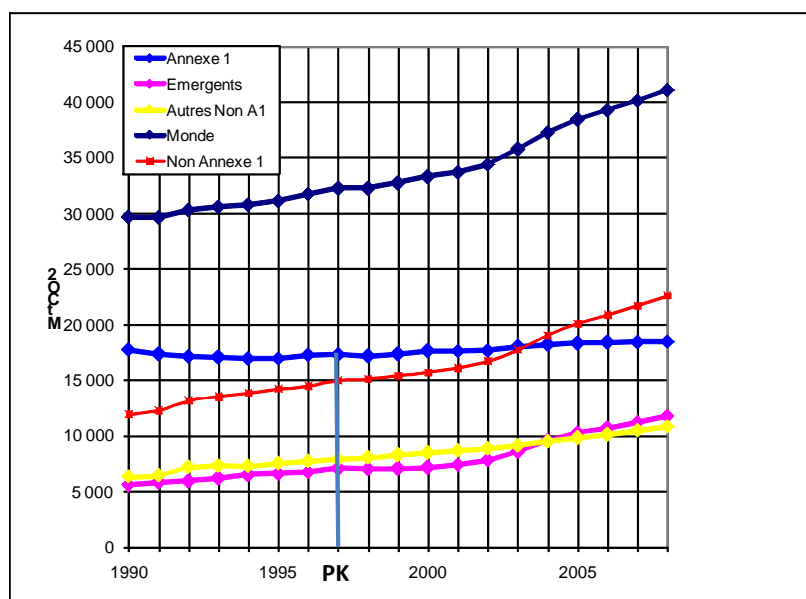
¹⁰ Modèle Energie-Economie du CIRED

logique *bottom-up*, correspondant mieux aux priorités et contradictions que les pays émergents doivent aujourd'hui gérer. Ce changement de paradigme doit probablement s'accompagner, au moins dans une phase de transition, du développement de nouvelles familles de scénarios, procédant plus de l'agrégation des politiques nationales que de la déclinaison d'un objectif global.

Du régime top-down de Kyoto à l'accord de Copenhague

Le protocole de Kyoto (1997) assignait aux pays de l'Annexe I de la Convention, des engagements chiffrés pour une réduction globale de 5,2 % des émissions moyennes de CO₂ sur la période 2008-2012, par rapport à 1990. La ratification du Protocole faisait sens car il concernait 55 pays responsables de plus de la moitié des émissions de GES (55 %), alors que les autres pays ne représentaient que 45 % des émissions totales de 1990 (Figure 3).

Figure 3 : Emissions mondiales de gaz à effet de serre entre 1990 et 2008 (en MtCO₂e)



Source : ENERDATA, DOE-EIA

Ainsi, le régime international des années 1990 et 2000 est défini par plusieurs éléments dont, pour les plus importants : la convention cadre, CCNUCC, et son Secrétariat qui définit objectif et principes ; un accord contraignant, le protocole de Kyoto, basé sur une architecture *cap & trade* et construit finalement autour d'un leadership européen ; une communauté scientifique structurée par le GIEC et ses rapports ; une feuille de route, celle de Bali (2007), qui structure les discussions tout en identifiant les points de blocage, enclenche une discussion concernant le long terme et propose d'aboutir en deux ans à venir sur une forme de gouvernance climatique globale. L'ensemble de ces éléments a été qualifié de « régime top-down », dans lequel on identifie bien un problème d'action collective et des acteurs affirmant vouloir le résoudre, des principes, des normes, un leader (même s'il a changé dans le temps), et finalement un mandat clair qui établit une échéance à laquelle tout doit être mis en place. Avec le retour des Etats-Unis dans la négociation, Copenhague aurait dû conduire à l'aboutissement de ce schéma et à son application à l'ensemble du monde.

Mais depuis la signature de la CCNUCC, la carte des émissions de CO₂ a été bouleversée du fait de la croissance des pays émergents et particulièrement de la Chine. Dix ans de forte croissance dans le monde émergent tirent les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, qui passent de 7 à 11,7 GtCO₂eq en 2008 pour les émergents, soit une augmentation de 67 % (Figure 3). Dès 2003, les émissions des pays

Annexe I sont dépassées par celles de l'ensemble des autres pays et en 2008 elles ne représentent déjà plus que 43 % du total mondial. En 2009, à Copenhague, l'équilibre des forces n'est plus celui de 1997 à Kyoto. A Copenhague, les pays émergents ne peuvent plus, compte tenu de leur poids dans le système mondial, être de simples spectateurs. Dès lors, dans un jeu de relations complexes avec les Etats-Unis, ils vont modifier les principes de la lutte contre le changement climatique : elle doit s'enclencher à partir des nations, à travers des mesures dites appropriées, harmonisées au travers des politiques domestiques, répondant aux objectifs légitimés au niveau national dans un profond respect de la souveraineté. Il s'agit des Manas, ou Mesures d'atténuation nationalement appropriées.

L'Accord de Copenhague, largement structuré par la relation Chine-Etats-Unis, établit une nouvelle règle de jeu, fondée sur des politiques nationales *bottom-up*. Il est signé par plus de 135 pays (responsables de plus de 80 % des émissions de GES) qui vont s'attaquer au problème climatique sur la base de leurs spécificités nationales, selon le principe des Namas, ce qui de toute évidence éloigne des principes et normes communes, donc d'un régime au sens strict du terme. Pour le moins, l'étape de Copenhague marque l'entrée dans un régime climatique de transition.

Les trajectoires post-Copenhague

Copenhague n'apporte pas ce qui était attendu mais conserve la « vision partagée » de Bali, donc les principes de la « responsabilité commune mais différenciée » ainsi que l'objectif à long terme du 2°C. Le Tableau 4 décrit les différents engagements mentionnés dans l'Annexe I de l'Accord de Copenhague. Les colonnes permettent d'assurer l'intercomparabilité des objectifs retenus par les principaux pays, du point de vue de six indicateurs. C'est sans doute du point de vue de l'indicateur de réduction de l'intensité du PIB en émission que les engagements des différents pays sont les plus proches.

Tableau 4 : Une grille de lecture et de traduction des engagements post-Copenhague pour les pays-clés

		Variation des émissions en 2020			Variation de l'intensité d'émissions en 2020		
		/ 1990	/ 2005	/ proj 2020	/ 2005	obj - proj	t.c.a.m.
	proj	15%	-1%	0%	-26%	0%	-2,0%
USA	-17% / 2005	-4%	-17%	-16%	-38%	-12%	-3,2%
	proj	-7%	-3%	0%	-24%	0%	-1,8%
UE27	-20% / 1990	-20%	-17%	-14%	-35%	-11%	-2,8%
	proj	252%	80%	0%	-38%	0%	-3,1%
CHINE	-40% / ie05	241%	74%	-3%	-40%	-2%	-3,3%
	-45% / ie05	213%	59%	-11%	-45%	-7%	-3,9%
	proj	268%	105%	0%	-24%	0%	-1,8%
INDE	-20% / ie05	285%	114%	5%	-20%	4%	-1,5%
	-25% / ie05	261%	101%	-2%	-25%	-1%	-1,9%
	proj	126%	58%	0%	0%	0%	0,0%
BRESIL	-36% / base	45%	1%	-36%	-36%	-36%	-2,9%

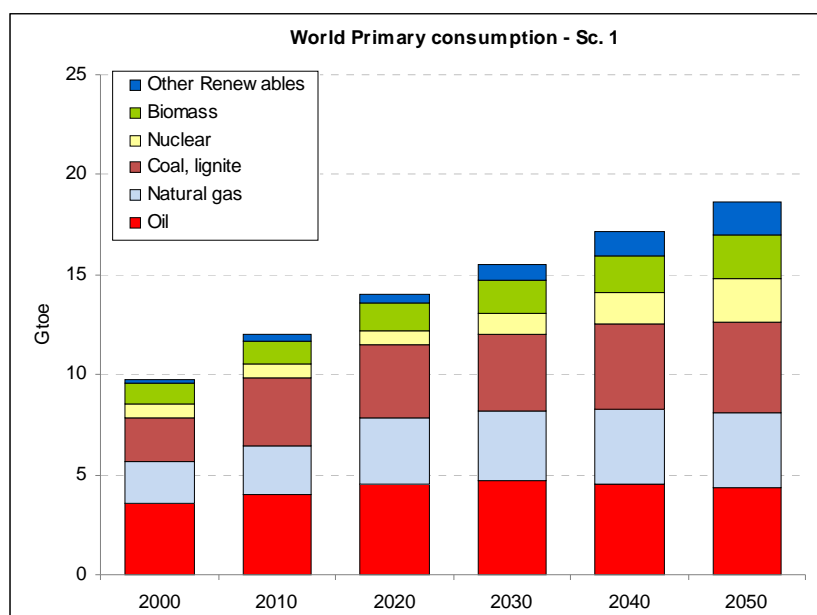
NB: les cases grisées correspondent à la formulation retenue par chaque pays pour ses propres objectifs

Sources : bases de données POLES-ENERDATA et projection de référence 2020 (proj) scénario Baseline du modèle POLES-LEPII, 2009

D'après le Quatrième rapport (AR4) du GIEC, pour atteindre l'objectif de limitation d'augmentation de la température de 2°C, les émissions pour les Parties de l'Annexe I devraient en 2020 être réduites de 25 à 40 % par rapport à 1990 et les émissions des pays Non annexe I devraient s'écarter significativement des niveaux tendanciels, de l'ordre de 15 à 30 %. Or d'après le Climate Action Tracker (CAT), en 2008 les émissions mondiales s'élevaient à 46 GtCO₂e et les cibles proposées dans le cadre de l'Accord de Copenhague devraient, selon les projections, les faire passer à 52-56 GtCO₂e contre 59 GtCO₂e dans la projection au fil de l'eau. A l'évidence les réductions, qu'il s'agisse de celles des pays Annexe I ou non Annexe I, ne rentrent pas dans la fourchette donnée par le GIEC. En conséquence, le CAT estime que les engagements actuels s'inscrivent plutôt sur une tendance conduisant à une augmentation de 3.2°C en 2100.

Cette conclusion est confirmée par les projections faites dans le cadre du Projet Secure de l'Union européenne à l'aide du modèle POLES. Dans un scénario de politiques climatiques faibles et non coordonnées, dit « *Muddling through* », le modèle fait apparaître une croissance de la consommation de l'énergie et par conséquent des émissions qui, bien que contraintes, restent significatives et correspondent à des scénarios SRES de type IV (voir Tableau 1), soit une augmentation de la température de 3 à 4°C.

Figure 5 : Scénario SECURE « Muddling through » Consommation d'énergie primaire au niveau mondial



Source : Modèle POLES, LEPII, projet SECURE

De son côté, le Potsdam Institute for Climate Impacts Research, PIK, estime que les engagements pris par les Parties au titre de l'Accord de Copenhague aboutiraient à une hausse des émissions mondiales de 10 à 20 % d'ici à 2020, ce qui correspondrait à la probabilité de plus de 50 % pour que le réchauffement moyen dépasse 3°C d'ici à 2100. Or le draft initial de l'Accord de Copenhague comprenait bien l'objectif de réduction globale de 50 % des émissions d'ici 2050 en dessous du niveau de 1990 avec la spécification selon laquelle les pays Annexe I devraient atteindre une réduction de 80 % des émissions. Par la suite, ni l'Accord de Copenhague ni les Accords de Cancun n'ont repris ces chiffres et il y a peu de chances qu'ils le soient à Durban.

Il y a donc une tension, pour ne pas dire une contradiction manifeste, entre l'objectif désigné de 2°C et la réalité des engagements nationaux. Les Etats-Unis (proposition Waxman-

Markey) comme la Chine se semblent pas pour l'instant vouloir relever leurs niveaux d'ambition et cela risque de reporter la mise en œuvre de mesures d'atténuation significatives. Cependant, alors que l'Accord de Copenhague prévoyait une révision des objectifs après le prochain rapport du GIEC, en 2014, les Accords de Cancun invitent certes les pays développés à rehausser leurs propositions, tout en soulignant la nécessaire prise en compte de l'adaptation. Les Accords de Copenhague et de Cancun, jugés à la manière dont ils ont été négociés dans le contenu et la forme, conduisent à conclure que la nouvelle architecture qui peut se mettre en place sera marquée par un phénomène majeur : les pays émergents, au premier rang desquels évidemment la Chine, ont quitté leur place de simples spectateurs et sont entrés activement dans le processus de construction des politiques climatiques. La nouvelle architecture devra donc, d'un côté, satisfaire les priorités des pays émergents et, de l'autre, intégrer le mode d'action qu'ils privilégient aujourd'hui, les Namas. De ce fait, tous les scénarios énergie-climat sont aujourd'hui situés entre le souhaitable, tel que décrit par la communauté scientifique au sein du GIEC (2°C), et le probable, tel qu'il découle de l'état actuel des engagements nationaux (3-4°C).

* * *

Les incertitudes qui découlent des derniers accords internationaux sur le climat révèlent bien la tension entre les contraintes nationales, de sécurité énergétique et de conservation du bien-être, et les contraintes internationales, de respect de la règle d'équité et de comparabilité de l'effort pour la production du bien public global qu'est le climat. Cette tension conduit à considérer avec la plus grande attention, dans la construction des scénarios énergie-climat, l'étape de remontée à partir des politiques nationales. Dans une étape de transition vers un nouveau paradigme dans l'architecture des politiques climatiques internationales, l'approche *bottom-up* tendra à remplacer l'approche *top-down* du plafond global d'émission. Reste à savoir combien de temps va durer cette phase de transition, ce qui revient à poser la question de savoir quand les parties à la négociation reconnaîtront qu'elles ne peuvent plus tenir le double langage, de la limitation du réchauffement à 2°C et de la conduite de politiques nationales autonomes, non coordonnées internationalement en fonction des connaissances scientifiques sur le climat.

Bibliographie

Auverlot D., (dir.), *Les négociations sur le changement climatique : vers une nouvelle donne internationale ?*, Rapport CAS, disponible sur <http://www.strategie.gouv.fr/>, 2009.

Auverlot, D., Raynard, C., (coord.), *La valeur tutélaire du carbone. Rapport de la commission présidée par Alain Quinet*, La documentation française, 2009.

Chen, C., Hare, B., Hagemann, M. et al., *Cancun Climate Talks -Keeping Options open to close the Gap*, Climate Action Tracker briefing paper, 2011.

Clarke L. E., Edmonds J. A., Jacoby H. D., *Scenarios of Greenhouse Gas Emissions and Atmospheric Concentrations*, US-CCSP, disponible sur <http://www.climate-science.gov/Library/sap/sap2-1/finalreport/sap2-1a-final-all.pdf>, 2007.

Criqui, P., Ilasca, C., *Les engagements pris à Copenhague et la question de la comparabilité des efforts*, Responsabilité & Environnement, n° 59, 2010.

Criqui, P., Mima, S., *The European Energy Sector and the Climate- Security Nexus in the SECURE Scenarios in The Gulf and the European Energy Supply Security*, Conférence sur la Sécurité énergétique, Manama, Bahreim, 2010.

den Elzen, M.G.J., Höhne, N., *Reductions of greenhouse gas emissions in Annex I and non-Annex I countries for meeting concentration stabilisation targets*, Climatic Change vol. 91 (No. 3-4), pages 249-274, 2008.

den Elzen, M.G.J., Mendoza Beltran, M.A., van Vliet, J., et al., *Climate Change Scientific Assessment and Policy Analysis Pledges and Actions. A scenario analysis of mitigation costs and carbon market impacts for developed and developing countries Report*, 2009.

Gielen D., (ed.), *Energy Technology Perspectives Scenarios & Strategies to 2050*, IEA, 2008.

Höhne, N., Schaeffer, M., Chen C. et al., *Copenhagen Climate Deal – How to Close the Gap*, Ecofys briefing paper, 2009.

Pachauri, R.K., Reisinger, A. (dir.), *Bilan 2007 des changements climatiques. Contribution des Groupes de travail I, II et III au quatrième Rapport d'évaluation du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat*, GIEC, 2007.

Rogel J., *Copenhagen Accord pledges are paltry*, Nature, no. 464, pp. 1126 – 1128, 2010.

Ross-Larson, B. (ed.), *World Development Report 2010: Development and climate change*, disponible sur <http://siteresources.worldbank.org/INTWDR2010/Resources/5287678-1226014527953/WDR10-Full-Text.pdf>, Banque Mondiale, 2010.

Tamirisa, N., *Policies to reduce the emission of greenhouse gases need not hobble the economy*, Volume 45, Number 1, Finance and Development, FMI, 2008.

Tamirisa N., Jaumotte F., Jones B., « Climate Change and the Global Economy », in Collins C., Lall S., (coord.), *World Economic Outlook 2008*, disponible sur <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2008/01/pdf/text.pdf>, 2008.

De Kyoto à Durban : l'invention d'une nouvelle coopération climatique, La note de veille N° 213, CAS, 2011.

Les Etats sont-ils sur le cap des 2 ou 1,5°C ? Climate Action Tracker, Climate Analytics, Ecofys et le Potsdam Institute for Climate Impact Research (PIK), disponible sur www.climateactiontracker.org, 2010.

Summary of COP 16 and CMP, Pew Center on Global Climate Change, 2010.

The economics of climate change mitigation, disponible sur http://www.oecd.org/document/56/0,3746,en_2649_34361_43705336_1_1_1_1,00.html, OCDE, 2009.

Scénarios de transition vers un monde économe en carbone en 2050 : quels enjeux pour l'industrie ?, disponible sur <http://www.iddri.org/Iddri/Fondation/Programme-de-recherche-Scenarios-sous-contrainte-carbone>, IDDRI, 2009.