Agence Française de Développement

document de travail

août 2008 | 68

Réduire le méthane : l'autre défi du changement climatique

Benjamin Dessus, Bernard Laponche, association Global Chance

Contact : Nils Devernois, département de la Recherche, AFD (devernoisn@afd.fr)

Département de la Recherche

Agence Française de Développement
Direction de la Stratégie
Département de la Recherche

5 rue Roland Barthes
75012 Paris - France
www.afd.fr

afd
Agence Française de Développement

Avertissement

Les analyses et conclusions de ce document de travail sont formulées sous la responsabilité de ses auteurs. Elles ne reflètent pas nécessairement le point de vue officiel de l'Agence Française de Développement ou des institutions partenaires. L'objet de sa diffusion est de stimuler le débat et d'appeler commentaires et critiques.

Directeur de la publication : Jean-Michel SEVERINO
Directeur de la rédaction : Robert PECCOUD
ISSN : 1958-539X
Dépôt légal : 3e trimestre 2008

Mise en page : Vif Argent

Sommaire

	Résumé	**5**
1.	**Le risque climatique**	**9**
2.	**Où en sommes-nous aujourd'hui ?**	**11**
3.	**Les marges de manœuvre**	**13**
3.1	L'état des lieux	13
3.2	Les raisons de la sous-estimation de l'influence à court et moyen termes des effets du méthane sur le climat	15
3.3	L'ordre de grandeur des enjeux et des conséquences d'une politique mondiale de réduction des émissions de méthane dans les décennies qui viennent	16
4.	**Les émissions de méthane**	**19**
4.1	La répartition des émissions de méthane par secteur et par région	19
4.2	Les potentiels de réduction des émissions de méthane	22
5.	**Des exemples illustratifs de politiques de réduction des émissions de méthane**	**25**
5.1	Un programme de captation du méthane des décharges pour la France	25
5.2	Les conséquences à moyen terme des politiques publiques récentes de différents pays vis-à-vis du méthane	27
5.3	Un exemple de programme à venir : le Plan climat en Chine	30
6.	**Eléments économiques**	**33**
6.1	Deux logiques	33
6.2	Méthane et marché du carbone	34
7.	**Des conclusions pour l'action**	**39**
7.1	Il est indispensable et urgent de s'occuper sérieusement du CH_4	39
7.2	Les conséquences d'une politique mondiale de réduction des émissions de méthane dans les décennies qui viennent sont considérables	39
7.3	Les potentiels de réduction des émissions de méthane sont importants à court et moyen termes (de l'ordre de 30 % à l'horizon 2030), aussi bien dans les pays industriels que dans les pays émergents	39
7.4	Ces potentiels sont mobilisables a des coûts raisonnables à court terme sans remettre en cause le développement	40
7.5	Définir des programmes et des outils adaptés.	40
	Annexe 1. Réchauffement climatique : importance du méthane	**43**
	Annexe 2. Comparaison de deux programmes de réduction des émissions de CH_4 et CO_2	**49**
	Glossaire	**51**
	Bibliographie	**57**

Résumé

Les études sur l'évolution du climat montrent qu'il est impératif de réduire massivement la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère durant les toutes prochaines décennies si l'on veut limiter à terme le réchauffement atmosphérique à 2 ou 3 degrés et éviter l'apparition, à court terme, d'irréversibilités comme la fonte du *permafrost* par exemple. Afin d'atteindre ces objectifs, les experts du climat établissent des scénarios d'évolution des concentrations des différents gaz à effet de serre et déterminent des limites à atteindre pour ces concentrations. Les objectifs des politiques de lutte contre le changement climatique sont ensuite fixés en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Afin de permettre une simplification de l'appréciation globale de l'incidence des émissions des différents gaz (gaz carbonique CO_2, méthane CH_4, oxyde nitreux N_2O, etc.) sur le réchauffement climatique, la communauté internationale a adopté des règles d'équivalence permettant de comptabiliser les émissions des gaz autres que le CO_2 en une unité commune, la tonne équivalent CO_2 (teq CO_2), en utilisant le « Potentiel de réchauffement global » (PRG), indicateur qui fournit le rapport des effets respectifs sur le climat, pour une période donnée, d'une émission ponctuelle du gaz considéré (CH_4 par exemple) à une émission ponctuelle de CO_2 de même masse la même année. Une période de référence de 100 ans a été fixée et l'on aboutit ainsi à dire que, en termes d'effet sur le climat, l'émission de 1 tonne de CH_4 « vaut » l'émission de 21 tonnes de CO_2.

L'étude présentée dans ce document montre que l'utilisation généralisée de cette équivalence pour mesurer les émissions constatées mais aussi les émissions futures envisagées ou les émissions évitées sur une période passée ou future conduit à une sous-estimation des effets sur le climat des émissions de CH_4 car son PRG varie très rapidement avec la période considérée (de 100 environ pour quelques années à 21 ou 25 selon les plus récentes évaluations pour une période de 100 ans). Cette sous-estimation est encore accentuée si l'on compare les effets respectifs d'émissions évitées – soit de façon pérenne, soit pour une durée limitée - de CH_4 et de CO_2. C'est ainsi que la comparaison des effets sur le climat d'une réduction de 30 % des émissions mondiales de CH_4 entre 2010 et 2030 et d'une réduction de 40 % des émissions de CO_2 sur la même période montre que l'efficacité du programme CH_4 atteint environ 50 % de celle du programme CO_2 à l'horizon 2030, environ 40 % à l'horizon 2050 et 20 % en 2150. Le poids d'une action rapide de réduction des émissions de méthane est donc loin d'être négligeable dans les stratégies de lutte contre le réchauffement climatique à court et moyen terme, contrairement à l'opinion couramment admise.

Les émissions mondiales de méthane se répartissent de façon sectorielle entre l'agriculture (38 %), le système énergétique (33 %), les déchets ménagers et le traitement des eaux (23 %), l'industrie et les feux de forêt (6 %). Les différentes possibilités de réduction de ces émissions sont présentées pour chaque secteur. On évalue ainsi que le potentiel de réduction à court terme (une ou deux décennies) est de l'ordre de 30 %. Des possibilités intéressantes existent pour aller au-delà et nécessitent des études et des recherches plus approfondies. Des exemples concrets de programmes de réduction des émissions de CH_4 sont présentés : captage du méthane des décharges en France et sa comparaison à certains programmes qui réduisent les émissions de CO_2 ; comparaison des politiques récentes de réduction des émissions de méthane de l'Allemagne et de la France ; réduction des émissions de méthane du système énergétique de Tunisie et des ordures ménagères du Mexique ; résultats escomptés des réductions des émissions de méthane par captage du grisou des mines de charbon dans le Plan climat de la Chine à l'horizon 2010. Une part importante des potentiels de réduction d'émissions (ordures ménagères, une proportion importante des fuites des systèmes énergétiques) est économiquement mobilisable au simple titre d'une valorisation énergétique du méthane dans le contexte actuel des prix des combustibles fossiles. Pour l'autre part, des incitations réglementaires ou fiscales sont indispensables. La recherche d'un découplage massif et rapide de la croissance des émissions de méthane et de la croissance du PIB devrait donc constituer une opportunité majeure pour les pays émergents sur le chemin d'une maîtrise de la croissance de leurs émissions de GES à moyen terme (20 à 60 ans). D'autant que les investissements correspondants peuvent être

souvent rentabilisés par la fourniture d'un service énergétique nouveau (le gaz à la ferme, par exemple) ou d'un substitut aux combustibles et carburants fossiles.

La sous-estimation des effets de la réduction des émissions de méthane comme la très grande variété des programmes et des actions qui permettent la réduction des émissions de gaz à effet de serre en fonction du secteur considéré, conduisent à reconsidérer la pertinence de la fixation d'objectifs de réduction exprimés en une unité unique (la teq CO_2) et, en conséquence, la validité de la mise en œuvre d'un « marché unique du carbone », basé précisément sur l'utilisation de cette unité. L'importance du facteur temps pour apprécier les effets respectifs des réductions d'émission du gaz carbonique et du méthane, comme l'extraordinaire variété des politiques et des technologies – en termes de conditions d'application comme de coût économique – conduisent à recommander de définir des objectifs de réduction des émissions distinctes pour ces deux gaz et d'engager les négociations climat sur la définition et les conditions de mise en œuvre de programmes d'action prioritaires pays par pays, sur la base d'une première analyse des potentiels sectoriels les plus importants et les plus accessibles.

Summary

Climate change studies show that it is vital to massively reduce atmospheric concentrations of greenhouse gases in the coming decades in order to limit the global average temperature rise ultimately to 2 or 3°C and to prevent the occurrence of irreversible phenomena such as the melting of permafrost. To achieve these targets, climate experts construct scenarios estimating the changes in atmospheric concentrations of the different greenhouse gases, and determine the maximum levels that these concentrations should reach. Climate change policy targets are then set in terms of greenhouse gas emission reductions. In order to simplify the global assessment of the impact of emissions of these different greenhouse gases (carbon dioxide CO_2, methane CH_4, nitrous oxide N_2O, etc.) on global warming, the international community has adopted rules of equivalence to make it possible to take into account the emissions of non-CO_2 greenhouse gases within one single unit: the tonne of CO_2 equivalent (t CO_2 eq). This is achieved by using the « Global Warming Potential » (GWP) indicator which indicates the ratio of the respective climate impacts of a pulse emission of the greenhouse gas considered (CH_4 for example) over a given period of time to a pulse emission of CO_2 of the same volume in the same year. A reference period of 100 years was defined and this means therefore that in terms of climate impacts, the emission of 1 tonne of CH_4 is « worth » the emission of 21 tonnes of CO_2.

The study presented in this document shows that the widespread use of this equivalence to calculate not only past emissions, but also future emissions anticipated or emissions avoided over a period in the past or in the future, has led to the climate impact of CH_4 emissions being underestimated. This is because the GWP of CH_4 varies considerably depending on the period under consideration (from around 100 for the first few years to 21, or 25 according to the most recent assessment, for a 100-year period). This underestimation is accentuated even more if the respective impacts of avoided emissions of CO_2 and CH_4 are compared, either on a permanent basis or over a limited period of time. Thus, comparing the climate impact of a 30% reduction in global CH_4 emissions between 2010 and 2030 and of a 40% reduction in CO_2 emissions over the same period shows that the effectiveness of the CH_4 programme is 50% of that of the CO_2 programme in 2030, around 40% in 2050 and 20% in 2150. Contrary to widely accepted belief, the effect of rapidly implemented CH_4 emission reduction measures is highly significant in short- and medium-term climate strategies.

The breakdown of global methane emissions by sector is as follows: agriculture (38%), energy systems (33%), household waste landfill sites and waste water treatment (23%), industry and forest fires (6%). The different possibilities for reducing these emissions are presented for each sector. It is thus estimated that the short-term reduction potential (one or two decades) is around 30%. Interesting possibilities to go beyond this exist but they require more in-depth research and studies. Concrete CH_4 emission reduction programmes are presented: capturing methane from landfill sites in France and a comparison with certain CO_2 emission reduction programmes ; a comparison of recent methane emission reduction policies of Germany and France ; reducing methane emissions from the energy system in Tunisia and from household waste in Mexico ; expected results of methane emission reductions by capturing firedamp in coal mines under China's Climate Plan by 2010. In the current context of fossil fuel prices, a significant proportion of the emission reduction potential (household waste and, to a large extent, leaks from energy systems) can be cost-effectively harnessed simply by recovering the

methane for energy production purposes. For the remaining potential, regulatory or fiscal incentives are required. Seeking to massively and rapidly decouple methane emissions from GDP growth should therefore provide a major opportunity for countries with emerging economies to put themselves on a path towards controlling increases in their greenhouse gas emissions in the medium term (20 to 60 years). This is particularly true since the corresponding investments can often be recouped by providing a new energy service (farm biogas for example) or switching away from fossil fuels.

Both underestimating the effects of methane emission reductions, and the wide range of sector-related greenhouse gas emission reduction programmes and measures, lead us to reconsider whether it is appropriate to set emission reduction targets expressed in a single unit (t CO_2 eq) and, consequently, whether it is relevant to implement a « global carbon market », precisely based on the use of this unit. Both the importance of the time factor to assess the respective effects of CO_2 and CH_4 emission reductions, and the extraordinary range of policies and technologies – in terms of implementing conditions and economic costs –, lead us to recommend that separate emission reduction targets be set for these two greenhouse gases and that international climate negotiators begin to draw up country-by-country priority action programmes and define arrangements for their implementation on the basis of a preliminary analysis of the largest and most easily harnessed sectoral reduction potentials.

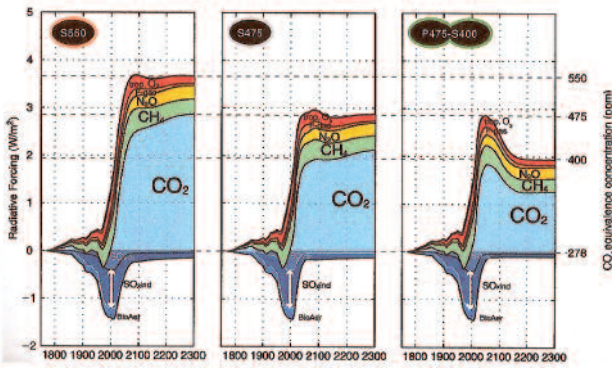
1. Le risque climatique

Le dernier rapport du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) montre la nécessité et l'urgence d'agir pour éviter le pire en termes de réchauffement du climat. Le Groupe I du GIEC montre en effet tout d'abord que, si la température moyenne de l'atmosphère dépasse de 2,5 ou 3 degrés celle de l'époque préindustrielle, le risque devient majeur d'apparitions d'irréversibilités comme la fonte du *permafrost*, la chute du rôle des puits de carbone joué par les couverts forestiers ou l'océan, etc. Ces phénomènes à leur tour peuvent entraîner une dérive irrésistible du climat. C'est la raison pour laquelle des régions comme l'Europe se sont fixé comme objectif de ne pas dépasser un réchauffement de 2 degrés. Mais que signifie une telle cible en termes de concentrations et d'émissions de gaz à effet de serre ? La comparaison d'un grand nombre de scénarios décrits par le GIEC permet d'apporter des éléments de réponse à cette question. On sait, en effet, qu'il existe de nombreux gaz dont les émissions sont responsables du renforcement de l'effet de serre : gaz carbonique (CO_2), méthane (CH_4), protoxyde d'azote (N_2O), les hydrofluorocarbures (HFC) et perfluorocarbures (PFC), les chlorofluorocarbures (CFC), etc. Chacun de ces « gaz à effet de serre » (GES) présente des caractéristiques propres d'absorption du rayonnement et de durée de vie dans l'atmosphère après son émission.

Dans leurs modèles de simulation, les experts du climat qui étudient les changements climatiques utilisent les données d'émission et de concentration de chacun d'entre eux dans différents scénarios d'évolution pour anticiper les modifications du climat. Pour résumer leurs résultats, ils ont l'habitude de les présenter en utilisant la notion de « concentration en équivalent CO_2 » de l'ensemble des gaz à effet de serre. Cette concentration est celle de CO_2 qui produirait à elle seule le même effet sur le climat, à un instant donné, que l'ensemble des différents gaz à effet de serre présents à cet instant dans l'atmosphère. La comparaison de ces scénarios montre que le respect de la contrainte « 2° » n'a de bonnes chances statistiques d'être atteint que si l'humanité parvient à stabiliser à terme la concentration de l'ensemble des GES vers 400 ou 450 parties par million en volume d'équivalent CO_2 (ppmv eq CO_2). Mais l'analyse montre aussi que tout dépassement trop important de cette concentration cible dans la période intermédiaire, entre 2020 et 2100 (au-delà de 475 à 500 ppmv) risquerait de rendre définitivement impossible l'atteinte de cette cible. En effet le « forçage radiatif », c'est à dire l'irradiation terrestre engendrée par ces sur-concentrations de GES, qu'on exprime en Watts par m², risque de provoquer des changements climatiques irréversibles.

Le graphique 1 illustre ce propos. Les scénarios représentés sur le graphique de gauche et le graphique central

Graphique 1. Contribution au forçage radiatif net des différents composants de forçage radiatif pour les trajectoires conduisant à des stabilisations de 550 à 400 ppmv eq CO_2.



Note : La frontière supérieure des aires représente le forçage radiatif anthropique. Le refroidissement net engendré par les effets directs et indirects des divers aérosols (SOx et biomasse) est indiqué par la courbe frontière négative. La flèche indique l'incertitude importante qui règne sur le forçage dû au SOx.
Source : Meinshausen, 2006.

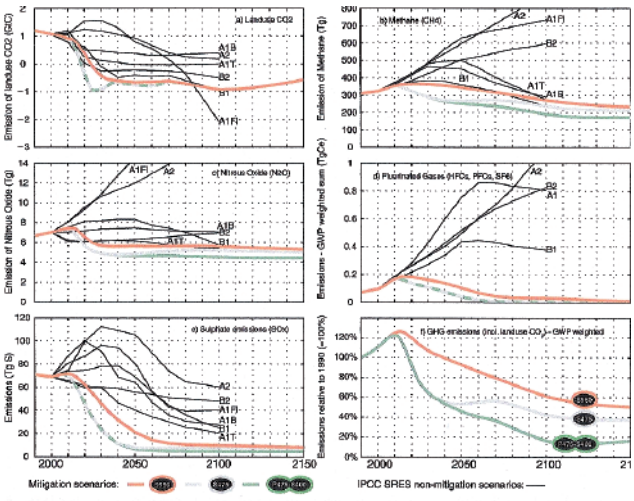
conduisent à de très fortes probabilités, sinon à la certitude d'un dépassement de plus de 2 degrés de la température terrestre. Les scénarios représentés sur le graphique de droite, qui culminent à 475 ppmv eq CO_2 au cours du présent siècle (ou vers 3 Watts/m^2 de forçage radiatif) pour retomber vers 400 ppmv eq CO_2 (ou 2 W/m^2) au-delà de 2 100 ont de fortes probabilités d'éviter le dépassement de 2 degrés.

2. Où en sommes-nous aujourd'hui ?

Dans son dernier rapport, le Groupe I du GIEC donne des indications assez précises sur l'évolution des concentrations en ppmv eq CO_2 et des forçages radiatifs au cours des dernières décennies. En 2005, la concentration de CO_2 était de 379 ppmv, pour un forçage radiatif supplémentaire par rapport à la période préindustrielle de 1,66 W/m^2. Les autres GES contribuaient pour 1 W/m^2 au forçage radiatif supplémentaire et l'effet négatif des aérosols était de l'ordre de 1W/m^2. Au total donc, un forçage radiatif supplémentaire de l'ordre de 1,7 W/m^2 (avec une barre d'erreur importante du fait des incertitudes sur le rôle des aérosols). Mais, depuis l'année 2000, les émissions mondiales de l'ensemble des GES, comptées selon les règles d'équivalence indiquées par le GIEC (1 kg de CH_4 équivaut à 21 kg de CO_2, 1 kg de N_2O équivaut à 310 kg de CO_2) et qui seront analysées en détail au chapitre 3.2, ont augmenté à un rythme de 3 % par an et ne montrent aucun signe d'inflexion. On voit bien, dans ces conditions, que la concentration maximum acceptable (et le forçage radiatif supplémentaire de l'ordre de 3 W/m^2) risque d'être dépassée bien avant 2050 .

C'est donc à beaucoup plus court terme que ne l'imaginent généralement les décideurs que se pose la question climatique comme le montre bien le graphique 2. En particulier, le dernier, en bas à droite, qui résume les précédents, montre l'allure de la courbe d'émissions globales (en teq CO_2) à respecter pour éviter les dérives incontrôlables du climat terrestre. Ce graphique met en évidence la nécessité d'atteindre à très court terme un point d'inflexion et une chute de l'ordre de 40 % des émissions mondiales en 2030 en teq CO_2 par rapport à 1990, alors que ces émissions croissent aujourd'hui nettement plus vite que ne l'indique la courbe notée 475-400 ppmv[1]. Ces quelques chiffres montrent l'ampleur de l'enjeu en termes de **dynamique de réduction** à court terme.

Graphique 2. Evolution des émissions des différents gaz à effet de serre pour les différentes trajectoires des scénarios « 550 » « 475 » et « 400 » ppmv eq CO_2 du graphique 1.



Source : Meinshausen, 2006.

1. Les émissions de GES ont déjà augmenté de près de 24 % entre 1990 et 2004.

3. Les marges de manœuvre

3.1 L'état des lieux

Depuis la période pré-industrielle, les concentrations des principaux gaz à effet de serre liés à l'activité humaine, le gaz carbonique, le méthane et le protoxyde d'azote, ont évolué comme le montre le tableau 1.

Tableau 1. Concentrations atmosphériques en volume et durée de séjour des principaux gaz à effet de serre

Gaz à effet de serre	Concentration préindustrielle	Concentration en 2004	Δ %	Temps de séjour dans l'atmosphère
Gaz carbonique CO_2	278 ppmv	380 ppmv	37 %	De l'ordre de 200 ans
Méthane CH_4	0,7 ppmv	1,7 ppmv	143 %	De l'ordre de 12 ans
Protoxyde d'azote N_2O	0, 275 ppmv	0, 311 ppmv	13 %	De l'ordre de 300 ans

Source : IPCC fourth assessment report, Working Group I « The Physical Science Basis », Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing, 2007 (rapport du Groupe I du GIEC, 2007).

C'est la concentration du méthane qui a augmenté le plus vite, suivi du CO_2. Les émissions mondiales de GES en 1990 et 2004, comptabilisées en unités physiques, apparaissent dans le tableau 2.

Tableau 2. Emissions des gaz à effet de serre en unités de masse

Emissions des principaux gaz à effet de serre	1990 (Mtonnes)[2]	2004 (Mtonnes)	Δ (Mtonnes)	Δ (%)
CO_2	29 000	37600	8600	29,50 %
CH_4	325	355	30	9,20 %
N_2O	11	12	1	9,10 %
CFC	ε	2ε		50 %

Source : IPCC fourth assessment report, Working Group I « The Physical Science Basis », Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing, 2007 (rapport du Groupe I du GIEC, 2007a).

Mais, dans la grande majorité des publications destinées aux décideurs, c'est sous une autre forme qu'apparaissent les émissions mondiales. En effet, pour permettre une simplification de l'appréciation globale de l'incidence des émissions de ces différents gaz sur le changement climatique, il a été décidé d'utiliser des règles d'équivalence permettant de comptabiliser les émissions des GES autres que le CO_2 en une unité commune : la tonne d'équivalent CO_2 (teq CO_2). Celle-ci est communément définie sur la base de l'impact relatif de chaque gaz sur le réchauffement climatique par rapport à celui du CO_2, effet calculé sur une période de temps déterminée qui suit l'émission de chacun des gaz, par exemple 100 ans. Cet impact sur le climat est identifié comme le cumul du forçage radiatif associé à un gaz donné sur toute la période considérée. Pour y parvenir, le GIEC a proposé la notion de « Potentiel de réchauffement global »[3] (PRG). Le PRG indique la contribution relative au réchauffement de la planète, pendant une période déterminée (par exemple 100 ans), d'une émission ponctuelle, en début de période, d'un kg d'un gaz à effet de serre particulier, par comparaison avec la contribution, sur la même période, d'une émission ponctuelle d'un kg de CO_2. Les PRG calculés pour différents intervalles de temps

2. Mtonnes : million de tonnes
3. En anglais, *Global Warming Potential* (GWP)

prennent en compte les différences de durées de vie des différents gaz dans l'atmosphère.

Dire que le PRG du méthane sur une période de 100 ans est de 21, comme l'indique le GIEC, c'est donc dire que l'émission ponctuelle de 1 tonne de CH_4 a une influence sur le climat équivalente à celle d'une émission ponctuelle de 21 t de CO_2 sur la période de 100 ans suivant ces émissions. La commodité d'utilisation de la teq CO_2 comme unité unique a conduit très vite à la généralisation de son emploi, qu'il s'agisse des émissions constatées, des émissions futures envisagées (dans les objectifs de politique climatique notamment), comme des émissions cumulées sur une certaine période (passée ou future). C'est la raison pour laquelle, dans la plupart des publications accessibles aux décideurs, les émissions sont données en « équivalent CO_2 » (eq CO_2) avec l'équivalence à 100 ans des différents gaz à effet de serre retenue par le GIEC, ce qui conduit pour les années 1990 et 2004 au tableau 3.

Tableau 3. Emissions des gaz à effet de serre en tonnes équivalent CO_2

Emissions en Gteq CO_2[4]	1990	2004	Δ	Δ %
CO_2	29	37,6	8,6	29,50 %
CH_4	6,8	7,5	0,7	9,20 %
N_2O	3,4	3,7	0,3	9,10 %
CFC	0,2	0,4	0,2	50 %
Total	39,4	49,2	9,8	25 %

Source : IPCC fourth assessment report, Working Group III « Summary for Policy Makers », 2007 (rapport du Groupe III du GIEC, 2007b).

La signification de ces chiffres d'émissions en eq CO_2 est la suivante :
- pour la colonne 1990, ils expriment les contributions des différents gaz au réchauffement climatique pendant les 100 ans qui suivent 1990, donc entre **1990 et 2090** ;
- de même pour la colonne 2004, ces chiffres expriment la contribution des différents gaz au réchauffement climatique de **2004 à 2104**.

Les colonnes 1990 et 2004 du tableau 3 ne sont donc pas directement comparables puisqu'elles expriment des effets à des termes temporels différents.

Signalons enfin que le tableau 3, construit avec les équivalents CO_2 à 20 ans (au lieu de 100) proposés également par le GIEC dès 1994 (rapport 1994 du GIEC) et encore valables aujourd'hui mais depuis longtemps oubliés, donnerait des résultats très différents. En effet, avec cette règle valable pour exprimer l'influence des différents gaz à effet de serre sur la période 2004 - 2024, les émissions de CH_4 auraient compté pour 22,1 Gteq et 35 % du total des émissions mondiales, contre 15 % dans le tableau 3, et les émissions de CO_2 pour 60 % au lieu de 76 %. Néanmoins, à l'examen rapide et sans précaution des chiffres du tableau 3, on voit bien pourquoi ce sont les émissions de CO_2 qui retiennent pratiquement toute l'attention des décideurs. D'abord parce que, avec cette convention, le CO_2 représente en effet en 2004 plus des trois quarts des émissions totales. De plus, c'est lui qui augmente le plus vite, à l'exception des CFC dont le rôle reste cependant marginal.

La conclusion logique est que c'est à lui qu'il faut s'attaquer en toute première priorité. Les politiques de réduction des émissions de gaz à effet de serre sont donc presque uniquement concentrées sur le gaz carbonique, et négligent largement le méthane et le protoxyde d'azote qui ne font l'objet d'aucun plan international d'envergure. L'absence totale de référence à ces gaz, dans le Grenelle de l'environnement français, dans les délibérations des conseils des ministres de l'Environnement européens ou dans le dernier rapport du PNUD sur le réchauffement climatique est très significative de cette négligence. Pourtant, nous avons vu que l'échéance des préoccupations s'est considérablement rapprochée, d'au-delà de 2100 à bien avant 2050, peut-être 2030 ou 2040. Il est donc nécessaire de nuancer cette première analyse et d'estimer plus précisément les effets réels des émissions des différents gaz à effet de serre, non plus seulement à l'horizon du XXII^{e} siècle, mais aussi à des horizons beaucoup plus proches

4. Gteq CO_2 = milliards de tonnes équivalent CO_2.

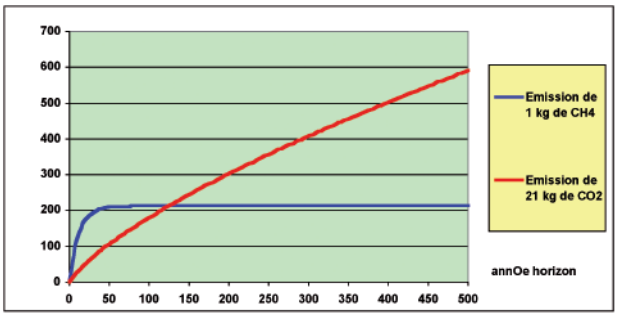
(2030 ou 2040), horizons où les potentiels de réchauffement de certains de ces gaz sont différents. C'est en particulier le cas pour le méthane dont le potentiel de réchauffement global croît très vite quand l'horizon d'observation se rapproche.

3.2 Les raisons de la sous-estimation de l'influence à court et moyen terme des effets du méthane sur le climat[5]

Trois raisons d'importance inégale contribuent à la sous-estimation des effets à court et moyen termes des émissions de méthane sur le climat.

La première raison, et la plus importante, tient au fait que le « potentiel de réchauffement global du méthane », défini par le GIEC comme la contribution relative au réchauffement climatique, pendant une période déterminée, d'une émission ponctuelle de méthane en début de période, par rapport à une émission de même quantité de gaz carbonique, varie très rapidement avec le temps. Le méthane possède en effet une capacité d'absorption des émissions infrarouges près de 100 fois supérieure à celle du CO_2, mais son temps de résilience dans l'atmosphère (de l'ordre de la décennie) est beaucoup plus faible que celui du CO_2 (de l'ordre du siècle). Cela se traduit par une variation très rapide au cours du temps du PRG du méthane comme le montre le graphique 3 qui indique l'évolution de l'effet cumulé sur le climat au cours du temps d'une émission ponctuelle, l'année 0, de 1 kg de méthane et d'une émission la même année de 21 kg de gaz carbonique, considérées comme équivalentes.

Graphique 3. Forçage radiatif intégré aux différents horizons d'une émission l'année 0 de 1 kg de CH_4 ou de 21 kg de CO_2



Source : Calculs des auteurs.

La deuxième raison, plus mineure, tient à ce que le GIEC a affiné son analyse des phénomènes d'absorption des différents gaz, ce qui l'a conduit à augmenter de 21 à 25 le PRG du méthane à 100 ans[6].

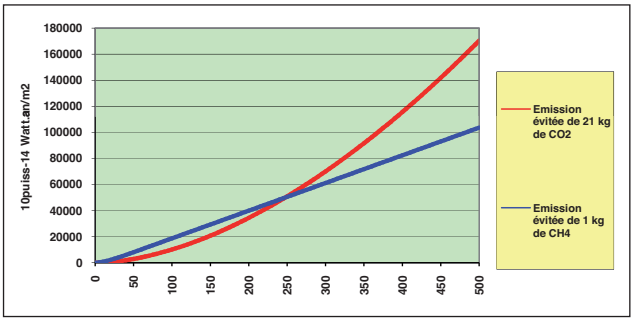
Le tableau 4 donne les valeurs de PRG au cours du temps.

La dernière raison tient à la définition même du PRG qui concerne les conséquences cumulées relatives, au cours du temps, **d'une émission ponctuelle, à un moment donné,** d'un gaz à effet de serre déterminé et de la même quantité en masse de CO_2. Cette définition n'est généralement pas opérationnelle pour un décideur chargé de mettre en place une politique de réduction d'émissions. En effet, dans la très grande majorité des cas, les mesures envisagées ont une vocation de pérennité ou tout au moins de durée de vie importante[7] : l'isolation d'une maison, l'installation d'une centrale électrique non émettrice de CO_2 en remplacement d'une centrale à charbon, etc., sont des mesures de longue durée de vie. De plus, en général, le décideur considère implicitement que le renouvellement de l'installation de réduction d'émissions se fera, en fin de vie, avec des moyens identiques ou mieux encore plus performants du point de vue des émissions. C'est donc à partir du cumul, année après année, de mesures généralement considérées comme pérennes que le décideur peut apprécier l'effet sur le climat à un horizon déterminé.

Le graphique 4 permet de répondre à cette question et de comparer, sur 500 ans, une action de réduction pérenne de 1 kg de CH_4 et une action de réduction pérenne de 21 kg de CO_2 (considérée comme équivalente avec les règles actuelles du GIEC).

5. On trouvera en annexe 1 un article détaillé sur cette question.
6. Dans les conditions actuelles de concentration du CO_2. Signalons cependant que l'efficacité radiative du CO_2 décroît quand sa concentration augmente. Dans l'hypothèse d'une poursuite à court terme de l'augmentation de la concentration de CO_2, le PRG sera supérieur au PRG calculé par le GIEC.
7. A l'exception notable de la bourse d'échanges de quotas qui ne différencie pas les mesures selon leur durée de vie.

Graphique 4. Forçage radiatif cumulé d'une émission évitée de 1 kg de CH_4 ou de 21 kg de CO_2 par an (pérenne) à partir de l'année 0



Source : Calculs des auteurs.

A court terme, la sous-estimation des effets engendrés par l'utilisation du PRG de 21 par les décideurs est très élevée (un facteur 3,9 à 20 ans et 2,7 à 50 ans). Elle reste encore de 1,9 à 100 ans et n'atteint la valeur 1 qu'au bout de 250 ans. Ensuite, la situation s'inverse et on assiste à une surestimation de l'effet du CH_4 qui atteint un facteur 1,6 à 500 ans. Ces courbes, en complément du tableau d'évolution du PRG du méthane au cours du temps, montrent bien à la fois tout l'intérêt pour le court et moyen terme d'une action de réduction des émissions de méthane, mais aussi les limites de cette action puisque, à long et très long terme, l'effet de cette réduction perd de son intérêt vis-à-vis d'une réduction des émissions de CO_2[8]. C'est dire qu'il ne saurait être question de substituer une politique de réduction de méthane à l'indispensable politique de réduction du CO_2 sans laquelle le long terme ne serait pas préservé. Une politique méthane doit donc être plutôt envisagée comme un complément qui présente l'avantage important de contribuer à court terme au maintien du climat dans des limites qui évitent des risques trop importants d'irréversibilité.

Tableau 4. Valeur du PRG du CH_4 en fonction de l'année horizon (année d'émission : 0)

Année	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
PRG	101	90	80	72	64	58	53	49	45	42
Année	**55**	**60**	**65**	**70**	**75**	**80**	**85**	**90**	**95**	**100**
PRG	39	37	35	33	31	30	28	27	26	25
Année	**105**	**110**	**115**	**120**	**125**	**130**	**135**	**140**	**145**	**150**
PRG	24	23	23	22	21	21	20	19	19	18

Source : Calculs des auteurs.

3.3 L'ordre de grandeur des enjeux et des conséquences d'une politique mondiale de réduction des émissions de méthane dans les prochaines décennies

Pour prendre conscience de l'ordre de grandeur des enjeux au niveau mondial, il est intéressant d'analyser deux types de scénarios dont l'objectif est de réduire les émissions de CO2 ou celles de CH4 dans des proportions correspondant aux objectifs actuels de la lutte contre le réchauffement climatique.

Dans le premier scénario, S1, les émissions des gaz à effet de serre autres que le CO2 sont maintenues à leur niveau de 2004 et les émissions de CO2 sont réduites de 40% par rapport à leur niveau de 2004, ce qui représente une réduction de 20 Gt. Cette réduction est réalisée sur la période 2010-2030 suivant une progression linéaire de 1 Gt par an.

Le second scénario, S2, consiste à maintenir constantes à leur niveau de 2004 les émissions de gaz à effet de serre autres que le CH4 et à opérer toutes les réductions possibles des émissions de méthane raisonnablement envisageables entre 2010 et 2030.

On verra plus loin (chapitre 4) qu'on peut estimer à 30% environ la réduction des émissions de CH4 raisonnablement accessible en 2030, voire même en 2020, soit 110 Mt sur les 355 Mt émis au monde en 2004 (voir tableau 6). Cette

8. On trouvera en annexe 2 un exemple de comparaison des effets à court et moyen terme de deux programmes de réduction des émissions de CH_4 et de CO_2.

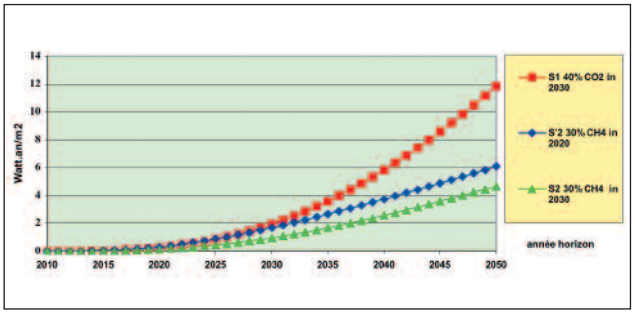
réduction correspond à un programme crédible, portant à la fois sur le captage d'une grande part du méthane émis par les décharges et les boues d'épuration, sur la valorisation partielle des lisiers et fumiers d'élevage et sur une réduction des fuites des systèmes énergétiques (mines, réseaux de transport, puits pétroliers). Un tel programme peut s'envisager dans le même délai que le premier avec une progression linéaire de raison 5,5 Mt par an, de 2010 à 2030.

Mais le même type d'action de réduction des émissions de méthane peut aussi être envisagé à plus court terme, d'ici 2020, avec une progression de raison 11Mt/an, car, au contraire du programme de réduction du CO2, il n'impose pas la construction ou la modification d'infrastructures lourdes. C'est le scénario S'2.

On peut alors aisément, sur la base des calculs du paragraphe précédent, évaluer l'effet cumulé sur le climat de ces différentes stratégies depuis leur mise en place jusqu'à un horizon donné, ici 2050. C'est l'objet du graphique 5.

De ce graphique, on peut tirer plusieurs enseignements importants pour l'action. Le premier enseignement est que les actions de réduction du méthane, quelles que soient leurs dynamiques, sont loin d'être marginales par rapport à celles qu'on peut engager sur le seul CO_2. Si les deux

Graphique 5. Comparaison des effets sur le climat (forçages radiatifs évités intégrés aux divers horizons) d'une réduction de 40 % des émissions mondiales de CO_2 entre 2010 et 2030 et d'une réduction de 30 % des émissions de CH_4 entre 2010 et 2020 ou 2030.



Source : Calculs des auteurs.

programmes (CO_2 40 %) et CH_4 (30 %) sont engagés au même rythme jusqu'à 2030, l'efficacité du programme CH4 atteint 49 % de celle du programme CO_2 en 2030, ou encore 44 % en 2040 et 39 % en 2050. Le second concerne la dynamique des programmes. Si, comme c'est vraisemblable, on peut réaliser le programme de réduction du CH_4 d'ici 2020, on améliore considérablement son efficacité : 88 % en 2030, 64 % en 2040 et 57 % en 2050.

Le tableau 5 complète ces informations en comparant, au cours de la période 2020-2050, des stratégies plus diversifiées.

Tableau 5. Comparaison des effets sur le climat de programmes de réduction des émissions

Forçage radiatif cumulé évité (W.an/m²)	2020	2030	2040	2050
CO_2 : 20 % en 2020	0,3	1,8	4,6	8,4
CO_2 : 20 % en 2030	0,15	1	2,9	5,9
CO_2 : 30 % en 2020	0,45	2,7	6,9	12,5
CO_2 : 30 % en 2030	0,21	1,45	4,35	8,8
CO_2 : 40 % en 2030	0,3	1,93	5,8	11,85
CH_4 : 20 % en 2020	0,15	1,1	2,5	4,1
CH_4 : 20 % en 2030	0,1	0,63	1,75	3,15
CH_4 : 30 % en 2020	0,3	1,7	3,95	6,1
CH_4 : 30 % en 2030	0,15	0,95	2,6	4,7

Source : Calculs des auteurs.

Ces résultats confirment que le poids d'une action rapide de réduction des émissions de méthane, même relativement modeste, n'est jamais négligeable dans les stratégies de lutte contre le réchauffement climatique à **court et à moyen termes**. Bien entendu, l'efficacité de cette réduction diminue avec le temps : l'efficacité du programme de réduction de 30 % de CH_4 d'ici 2030 par rapport au programme 40 % de CO_2 à la même époque tombe de 39 % en 2050 à 25 % en 2100 et à 18 % en 2150. Ce dernier point justifie la nécessité d'une action volontariste sur les réductions d'émission de CO_2, qui reste indispensable pour garantir le respect de **la cible à long terme**.

4. Les émissions de méthane

4.1 La répartition des émissions de méthane par secteur et par région

Globalement, on estime les émissions de méthane dans l'atmosphère à 500 Mtonnes par an, dont 360 proviennent de sources d'origine anthropique. La répartition par secteur et par région de ces émissions anthropiques de méthane n'est pas connue avec une grande précision pour deux raisons : d'une part l'estimation des émissions est plus difficile que celle du CO_2 dont la majorité provient des énergies fossiles, dont les quantités et les émissions sont faciles à comptabiliser et, d'autre part, elles n'ont pas fait l'objet de beaucoup d'attention de la part de la communauté internationale. En particulier, on ne dispose que d'indications datant de 1994 dans les différents inventaires des pays hors annexe 1, parties à la convention Climat. On dispose néanmoins d'indications globales qui permettent de donner des ordres de grandeur de la répartition par secteur d'activité et par grande région de ces émissions, comme l'indiquent les tableaux 6 et 7.

Tableau 6. La répartition sectorielle des émissions de méthane (1994)

CH_4	Millions de tonnes (Mtonnes)	Pourcentage
Agriculture (élevage et cultures du riz)	135	38
Système énergétique (fuites, grisou, etc.)	118	33
Déchets ménagers et traitement des eaux	82	23
Industrie et feux de forêts	22	6
Total	357	100

Source : GIEC Special Report on Emissions Scenarios. Climate Change 2001, Working Group I: the Scientific Basis.

Tableau 7. La répartition régionale indicative des émissions de méthane (1990)

1990	Pays de l'OCDE	Asie (hors OCDE)	Afrique du Nord + Amérique latine	Pays en transition + Afrique subsaharienne	Total
Pourcentage	24 %	37 %	22 %	17 %	100 %

Source : GIEC Special Report on Emissions Scenarios. Climate Change 2001, Working Group I: the Scientific Basis.

Du point de vue sectoriel, c'est l'agriculture qui domine, avec une prééminence de l'élevage, sauf en Asie où la culture du riz représente les deux tiers des émissions agricoles. Viennent ensuite les fuites des systèmes énergétiques. Le troisième poste est constitué des émissions des décharges d'ordures ménagères. Le dernier, principalement dû à la déforestation et à la pratique des brûlis de savane, est important dans les pays africains et en Amérique latine.

4.1.1 Le secteur agricole (38 %)

Les émissions du secteur agricole sont en faible augmentation depuis 1990 (<10 %). L'élevage contribue à près de 60 % aux émissions, le reste provient principalement de la culture inondée du riz. Le méthane dégagé par les ruminants (bovins, ovins) est un produit de la digestion incomplète lors de la fermentation gastro-entérique, surtout quand les animaux sont nourris avec des protéagineux (en particulier le soja). Une vache peut ainsi émettre entre 100 et 500 litres de méthane par an (70 à 350 g) selon son alimentation. A cela s'ajoutent les émissions liées aux excréments de l'ensemble des animaux d'élevage (ruminants, porcins, volailles, etc.) qui continuent leur décomposition en produisant plus ou moins de méthane selon le contexte. Dans les pays occidentaux, où l'on dispose de séries statistiques assez précises, on constate que les 2/3 des émissions de l'élevage proviennent de la fermentation entérique des animaux et 1/3 des fumiers et lisiers. C'est ainsi qu'en France, en 2005, les émissions de méthane de l'élevage, de 1 950 kilotonnes, se répartissaient en 1 325 ktonnes pour la fermentation entérique et 625 ktonnes pour les déjections animales. En riziculture, deux types de bactéries agissent : les bactéries anaérobies se développent en l'absence d'oxygène ; les bactéries aérobies se développent en présence d'oxygène. Les bactéries anaérobies produisent du méthane, et les aérobies en consomment. Les techniques d'irrigation couramment utilisées pour la riziculture favorisent le développement principal des bactéries anaérobies et la production de méthane n'est que très peu absorbée par les bactéries aérobies. Conséquence, une grande quantité de méthane est produite et lâchée dans l'atmosphère. La production d'un kilo de riz correspond à l'émission de 0,1 kg à 0,12 kg de méthane. La riziculture représente, de ce fait, le deuxième producteur mondial de méthane avec 60 millions de tonnes/an, juste derrière l'élevage des ruminants. Des techniques alternatives d'irrigation, en particulier par drainage saisonnier, pourraient cependant être utilisées pour limiter ce problème.

4.1.2 Le secteur énergétique (33 %)

Les émissions du secteur énergétique proviennent des mines de charbon (le grisou), des pertes des champs pétroliers et gaziers, des fuites du système de transport et distribution du gaz naturel et, marginalement, du secteur automobile. Au niveau mondial, ces émissions sont en augmentation de plus de 15 % depuis 1990. Là encore, on connaît assez mal la répartition selon les sources fossiles et les régions du monde des diverses émissions.

Le charbon[9]

L'évacuation et l'élimination du méthane provenant des couches de houille constituent la principale source de réduction des émissions fugitives du charbon. La plupart de ces émissions se produisent à la mine, certaines émissions résiduelles résultant d'activités de manutention et de transformation post-extractives. Il existe deux types de mines de charbon : de surface et souterraines. Les taux d'émission spécifiques résultant de l'extraction du charbon dépendent principalement de la contribution relative de l'exploitation de surface et souterraine à la production totale de charbon d'un pays. Les émissions de méthane issues des mines de surface sont habituellement inférieures d'une puissance de dix à celles provenant des mines souterraines. Pour ces dernières, la quantité d'émissions tend à augmenter avec la profondeur de la mine. Pour les deux types de mines, le potentiel d'émissions est déterminé par la teneur en gaz du charbon. Une partie du gaz peut rester dans le charbon jusqu'au point de combustion ; cependant, la majeure partie (60 % – 75 %) est rejetée au cours de l'extraction. Les émissions résultant de la manutention du charbon sont liées au type de mine à partir duquel le charbon a été produit et sont principalement associées aux opérations de concassage.

Les émissions issues des mines de charbon peuvent perdurer après l'arrêt de la production de charbon des mines (c'est-à-dire dans les mines abandonnées). En général, la quantité d'émissions diminue rapidement après l'arrêt de la production souterraine de charbon, mais il arrive, dans certains cas, que les émissions de méthane issues des strates environnantes soient importantes et se poursuivent encore pendant des années. Les résidus de charbon ou les

9. www.unfccc.int

tas de rebuts ne représentent qu'une source limitée d'émissions de méthane. Il existe des solutions pratiques pour lutter contre les émissions issues de l'extraction et de la manutention du charbon. Il peut s'agir notamment de l'utilisation de puits de dégazage avec soit conservation, soit brûlage à la torche du gaz produit, ou de l'utilisation de chambres de combustion catalytique installées à la sortie des systèmes de ventilation des mines souterraines (Shi Su *et al.*, 2005).

On ne dispose pas d'une statistique précise récente par pays des fuites de méthane associées à l'extraction minière. On peut néanmoins se rendre compte de leur importance en analysant l'exemple de la Chine. En 1994, dans son rapport à l'UNFCC, la Chine déclarait des émissions fugitives de ses mines de 7 Mtonnes de CH_4 pour une production charbonnière de l'ordre de 1 100 Mtonnes de charbon. En 2006, la production, de 2 400 Mtonnes, avait plus que doublé. On peut donc en inférer des émissions d'une quinzaine de Mtonnes de CH_4. Cet ordre de grandeur des fuites est compatible avec les objectifs affichés par la Chine dans son plan national de lutte contre l'effet de serre à l'horizon 2010 (Mark Tuddenham, 2007) qui envisage la captation et la valorisation de 10 Mtonnes de méthane issus des mines de charbon dont elle dispose. Comme la production de charbon de la Chine est de l'ordre de 40 % de la production mondiale[10], on voit que l'ordre de grandeur des émissions fugitives de méthane du secteur charbonnier mondial peut être estimé à 30 ou 35 Mtonnes de CH_4.

Le pétrole et le gaz naturel

Les principaux types de sources d'émissions fugitives provenant des installations de pétrole et de gaz sont les fuites au niveau des dispositifs, les procédés d'évacuation et de brûlage à la torche, les pertes dues à l'évaporation (stockage et manutention des produits, notamment dans le cas des pertes résultant de distillation par détente) et les rejets accidentels ou les pannes de matériel. Les rejets accidentels peuvent constituer une source substantielle en cas d'éruption de puits, de rupture de pipelines, d'accidents de pétroliers ou d'explosions de citernes. La migration des gaz vers la surface autour de la paroi extérieure des puits et les fuites dans des puits abandonnés sont également sources d'émissions.

Dans l'ensemble, la quantité d'émissions fugitives résultant des activités liées au pétrole et au gaz n'est pas proportionnelle aux niveaux de production ou aux débits des systèmes. Elle est plus étroitement liée à la quantité, au type et à l'âge des infrastructures, aux caractéristiques des hydrocarbures produits, transformés ou manutentionnés, et aux pratiques industrielles. Les émissions résultant de l'évacuation et du brûlage à la torche dépendent du volume de l'activité de procédé, des pratiques de fonctionnement, des opportunités d'utilisation sur site, de l'accès économique aux marchés et de l'environnement réglementaire local. A l'exception des raffineries de pétrole et des opérations intégrées d'extraction et de valorisation de sables bitumineux, les systèmes à base de pétrole et de gaz se caractérisent par un grand nombre de petites usines et installations, plutôt que par quelques grandes. En outre, s'il est facile d'obtenir des informations fiables à propos des installations les plus importantes, ce sont généralement les nombreuses petites installations qui sont responsables de la majorité des émissions fugitives. Or, il est beaucoup plus difficile d'obtenir des informations concernant ces petites installations. Par exemple, pour le gaz naturel, les estimations de pertes de l'ensemble du réseau gazier varient dans une fourchette de 1 % à 2 % selon les pays et les sources. L'IEA les évalue à 10 Mtonnes pour Gazprom en Russie (2 %), premier producteur de gaz naturel avec 25 % de la production mondiale. Aux Etats-Unis, second producteur de gaz naturel mondial (19 %) les émissions fugitives sont de 5 Mtonnes de CH_4 (1 %)[11]. Rapportées à une production de l'ordre de 2 000 Mtonnes de CH_4, les émissions fugitives de méthane du système gazier se situeraient donc dans une fourchette de 35 à 40 Mtonnes de CH_4.

Les émissions fugitives du pétrole varient également très sensiblement selon les pays. Aux Etats-Unis, les fuites sont mineures, 1,5 Mtonne CH_4 environ, par rapport à la production du pays, de l'ordre de 350 Mtep/an . En Arabie saoudite par contre, les émissions fugitives liées au système pétrolier

10. BP Statistical Review of World Energy 2007.
11. Inventaire détaillé des émissions des Etats-Unis (www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html)

étaient de 3,5 Mtonnes en 1990 pour une production de l'ordre de 420 Mtep/an[12] et donc plus de deux fois supérieures en proportion de la production. Sur ces bases, on peut estimer les fuites de l'amont pétrolier à des valeurs comprises entre 4 à 10 Mtonnes par Gtep de pétrole, avec une moyenne proche de 8, soit environ 30 Mtonnes CH_4 pour la production pétrolière actuelle, auxquelles s'ajoutent les émissions fugitives de la chaîne de raffinage stockage, de 10 à 15 Mtonnes de CH_4. Au total, des émissions fugitives qui se répartissent à proportions à peu près égales entre les trois sources principales de combustibles fossiles, au voisinage de 40 Mtonnes de CH_4 par source.

4.1.3 Décharges et traitement des eaux (23 %)

Les émissions de ce secteur proviennent pour plus de 85 % des décharges d'ordure ménagère, le reste des boues d'épuration du traitement de l'eau. Ces émissions augmentent rapidement avec l'urbanisation et le développement économique des pays émergents. C'est le cas par exemple pour le Mexique dont les émissions de méthane ont augmenté d'un facteur 2,1 entre 1990 et 2002[13]. Dans un pays très développé comme les Etats-Unis, les émissions de CH_4 des décharges d'ordures ménagères émettent autant de CH_4 que la fermentation entérique des ruminants (6 Mtonnes CH_4). En Europe (27 pays), les émissions de CH_4 des décharges représentent encore environ 4 Mtonnes de CH_4 en 2008, malgré la directive européenne en application de récupération du méthane des décharges (Skovgaard *et al.*, 2008).

Dans les pays émergents et en développement, les situations sont très contrastées selon le degré de développement et l'urbanisation. Dans un pays comme l'Arabie saoudite, très urbanisé et très peu agricole, les émissions de CH_4 proviennent à 75 % de la gestion des ordures ménagères (600 Kt)[14]. En Argentine, avec également 600 Kt d'émissions en 2000, les ordures ménagères ne sont responsables que de 15 % des émissions de CH_4, largement dominées par la fermentation entérique de l'élevage (2400 Kt)[15]. C'est le cas aussi au Brésil, où les émissions des décharges ne représentaient en 1994 que 10 % des émissions de méthane de l'élevage[16].

4.2 Les potentiels de réduction des émissions de méthane

On peut identifier des possibilités importantes de réduction ou de maîtrise des émissions de méthane à court et moyen terme au niveau mondial, sur la base de réalisations et de pratiques existantes dans les différents secteurs et dans différents pays. Dans le secteur énergétique, sous réserve d'une analyse plus précise pays par pays, on peut envisager de capter autour de 40 % des émissions à court terme. Les objectifs affichés par la Chine dans le domaine du grisou dans leur plan de lutte contre le changement climatique à l'horizon 2010, avec une économie de 10 Mtonnes de CH_4 sur la quinzaine actuellement émis (65 %), permettent d'extrapoler au niveau mondial une réduction d'un minimum de 20 Mtonnes de CH_4. De même, on peut, en se fixant l'objectif raisonnable au plan mondial d'un niveau moyen d'émissions fugitives encore 30 % supérieur à celui des Etats-Unis pour le pétrole (6 Mtonnes de CH_4 par gigatonne de pétrole) et le gaz (1,3 % de fuites) à moyen terme (2030), limiter les émissions à une valeur de l'ordre de 25 Mtonnes de CH_4 pour le secteur gazier et de 25 Mtonnes pour le secteur pétrolier. Donc au total, on peut raisonnablement envisager, à moyen terme, réduire de 50 Mtonnes les émissions du système énergétique mondial. Dans le secteur des ordures ménagères, de nombreuses méthodes existent pour réduire les émissions de méthane : couverture des décharges et captage du méthane (sur le modèle de nombreuses réalisations en Europe), incinération (à condition que les problèmes d'environnement et les problèmes sanitaires soient résolus), méthanisation provoquée dans des réacteurs dédiés, ou compostage des déchets. Autant de solutions qui permettent de faire chuter à quelques pour cent les émissions résiduelles de méthane. On peut raisonnablement attendre d'une généralisation de

12. First National Communication of the Kingdom of Saudi Arabia Submitted to UNFCCC, 2005.
13. unfccc.international_reports/non annex_1_natcom/items/2979php
14. Cf. note 13.
15. Second National Communication of Argentina Submitted to UNFCCC, 2007.
16. First National Communication of Brazil Submitted to UNFCCC, 2004.

ces méthodes, déjà abondamment expérimentées dans les pays du nord de l'Europe, une diminution des émissions de CH_4 liées aux déchets urbains de l'ordre de 40 à 45 Mtonnes.

Dans le domaine de l'agriculture, la production de riz, de l'ordre de 600 Mtonnes, est à l'origine d'émissions de CH_4 de l'ordre de 60 Mtonnes. Cependant, de nombreuses études et expérimentations[17] montrent que ces émissions sont très dépendantes des méthodes de culture. En particulier le drainage à deux reprises au cours du cycle de culture permet de réduire très fortement (80 %) les émissions de méthane. On peut raisonnablement envisager dans les pays producteurs aux rendements les plus élevés, supérieurs à 50 quintaux à l'hectare (Etats-Unis, Chine, Vietnam, Japon) et qui représentent la moitié de la production mondiale, une réduction de l'ordre de 20 % des émissions à court terme, si les agriculteurs y sont incités financièrement[18]. Dans le domaine de l'élevage (environ 80 Mtonnes de CH_4), il n'est pas envisageable de capter le méthane émis directement par les ruminants, sauf peut-être de façon marginale pour les animaux élevés en batterie. Des expériences, par contre, sont menées qui concernent l'alimentation du bétail, pour diminuer leurs émissions de méthane. Mais il est encore probablement trop tôt pour envisager des programmes applicables à une très large part des cheptels mondiaux. En revanche, le traitement des fumiers et des lisiers, dont les émissions représentent aujourd'hui environ 25 % des émissions globales de l'élevage (20 Mtonnes CH_4), peut être une source importante de réduction des émissions. Les techniques sont au point et de nombreuses installations de méthanisation des fumiers et lisiers fonctionnent dans les pays industrialisés[19] et dans les pays en développement (Chine, Inde, Vietnam, etc.). Les tailles de ces installations sont très variées, depuis des cuves de fermentation de quelques centaines de litres à quelques dizaines de m^3 adaptées aux besoins de petites fermes familiales jusqu'à des installations de plusieurs milliers de m^3 capables de traiter les déchets agricoles de plusieurs fermes de grande taille, de produire plusieurs millions de m^3 de gaz et plusieurs millions de kWh/an. La valorisation énergétique de ce méthane rend la plupart de ces opérations rentables dans le contexte actuel des prix de l'énergie. Le potentiel raisonnablement mobilisable de cette ressource à court terme (de l'ordre de 25 à 50 %) représente 5 à 10 Mtonnes CH_4 supplémentaires de réduction des émissions mondiales.

Le tableau 8 récapitule l'ordre de grandeur des potentiels recensés.

Tableau 8. Ordre de grandeur des potentiels sectoriels de réduction des émissions mondiales de méthane à court et moyen terme (10 – 20 ans)

Secteur	Potentiel de réduction (Mtonnes)
Charbon	-20
Pétrole	-15
Gaz naturel	-15
Décharges	-40 à -45
Agriculture (riz)	-6 à -10
Déchets d'élevage	-5 à -10
Total	-101 à -116

Source : Calculs des auteurs.

Ce potentiel de réduction est donc de l'ordre de 30 % des émissions actuelles (357 Mtonnes).

Au-delà, à plus long terme, on peut penser à la généralisation des pratiques économes en méthane de la culture du riz, à l'alimentation des animaux domestiques, au renforcement de la lutte contre les émissions fugitives du système énergétique et à l'éradication complète des émissions de méthane issues des déchets ménagers.

17. Voir par exemple Roger et Le Mer, 1999.
18. Dans un pays comme la Chine, où les rendements moyens à l'hectare dépassent 60 quintaux, une incitation financière à la réduction des émissions de CH_4 de la production de riz par de meilleures pratiques agricoles a toutes chances d'être très efficace. Une réduction de 20 % des émissions à l'hectare représente en effet 1,2 tonne de CH_4, l'équivalent de 25 tonnes de CO_2, avec le coefficient actuellement retenu par le GIEC. Pour une valeur de 20 dollars la tonne de CO_2, cela représente une incitation importante de 500 dollars à l'hectare et de 85 dollars à la tonne.
19. Données de base pour les méthaniseurs à la ferme en Allemagne, juillet 2005, club biogaz de l'ATEE, www.biogaz.atee.fr

5. Des exemples illustratifs de politiques de réduction des émissions de méthane

Quelques exemples des conséquences de programmes concrets et de politiques passées ou futures, à la fois pour des pays industrialisés et des pays en développement permettent d'appréhender plus concrètement l'importance de la réduction des émissions de méthane dans la lutte contre le réchauffement climatique à court et moyen terme.

5.1 Un programme de captation du méthane des décharges en France

En 2004, la France émettait 2 980 kilotonnes (kt) de CH_4. La plus grosse part (1 560 kt) provenait de l'agriculture, au premier chef de la fermentation entérique de l'élevage de ruminants. Deux sources d'émissions de méthane arrivaient ensuite : les déchets organiques (570 kt dont 533 pour les déchets solides déposés en décharge) et les effluents de l'élevage (lisiers bovins et porcins pour environ 580 kt). Enfin, la combustion des énergies fossiles et les émissions fugitives des combustibles représentaient 495 kt d'émissions de CH_4.

En ce qui concerne les décharges, en France, la loi encourage les décharges contrôlées (circulaire de mars 1987) à récupérer le méthane (biogaz) ou au moins à le brûler en torchère. Selon l'ADEME, en France, 10 % des décharges étaient ainsi équipées en 1993, 25 % en 1996 et 57 % en 1997, avec des rendements d'environ 60 % en 1999, qui pouvaient dans les années 2000 atteindre 80 %. La mission interministérielle de l'effet de serre a estimé qu'un bon réseau de captage du gaz de décharge permettait d'en diminuer les émissions de près de 100 %. Ce gaz est souvent gaspillé en France, alors que le Canada, l'Angleterre ou l'Italie valorisent depuis longtemps une partie de leurs gaz de décharge (Deneux, 2002).

Pourtant, certaines de ces décharges sont aujourd'hui déjà équipées en France de dispositifs (couverture de la décharge, tuyaux de drainage et cheminées d'évacuation du méthane) qui permettent de recueillir la quasi totalité du méthane émis et de le valoriser à des fins énergétiques. La généralisation à court terme (avant 2015) de ce procédé à l'ensemble des décharges françaises de grande capacité permettrait donc d'éviter la plus grosse part des émissions encore importantes des décharges existantes, même si la mise en décharge d'une partie des déchets fermentescibles se prolongeait à moyen ou long terme. C'est cette politique d'élimination définitive avant 2015 de 400 kt de méthane sur les 500 kt actuellement émises que nous proposons d'évaluer en termes d'effet sur le climat à différents horizons[20], en la comparant avec des politiques actuellement en cours de décision ou envisageables, et qui concernent les économies de CO_2. On pense en particulier soit à des programmes portant sur la production d'énergie sans émissions de carbone (nucléaire, renouvelables), soit à des politiques d'économie d'énergie. Une première estimation des investissements nécessaires pour ce programme conduit à des dépenses d'un maximum de 1 milliard d'euros[21].

20. Sans tenir compte d'une éventuelle utilisation énergétique du méthane capté qui pourrait se substituer à l'utilisation d'un combustible, lui-même responsable d'émissions de CO_2 voire de méthane et de N_2O.

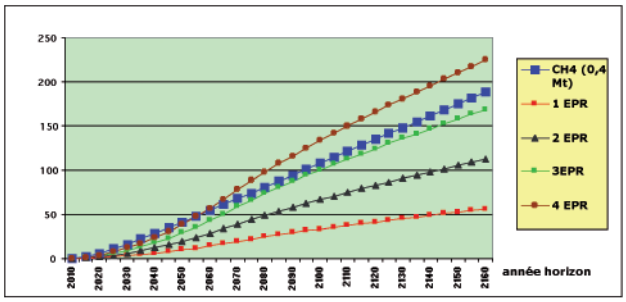
21. Hypothèses retenues par les auteurs : un casier classique de décharge de 10 000 m^2 et 20 mètres de profondeur contenant 200 000 m^3 de déchets produit environ 12 000 tonnes de CH_4 en 30 ans. La couverture du casier et les dispositifs annexes sont estimés à un million d'euros, dont 0,5 à 0,7 pour la couverture (50 à 70 euros/m^2) pour 400 tonnes/an. Soit un coût d'investissement de 2 500 euros la tonne de CH_4.

5.1.1 Récupération du méthane des décharges *versus* programme de relance nucléaire

Le scénario proposé est celui de la mise en service d'un certain nombre de réacteurs EPR de 1 500 MW avant 2020 pour un coût d'investissement unitaire de l'ordre de 3 milliards d'euros. Chacun des réacteurs est capable de produire 10 TWh/an pendant 60 ans. Cette production électrique se substitue à des moyens de production thermiques classiques (en faisant l'hypothèse que cette substitution soit effective dans l'espace énergétique européen) et permet une économie de gaz carbonique qui varie en fonction de l'origine des combustibles utilisés[22].

Le graphique 6 montre les conséquences de ces actions en termes d'effet intégré sur le climat sur différentes périodes et permet de les comparer à celle de la politique méthane. Elle montre que les effets intégrés sur le climat seront du même ordre dans les 150 ans qui viennent. Les courbes 4 EPR et 3 EPR encadrent la courbe méthane.

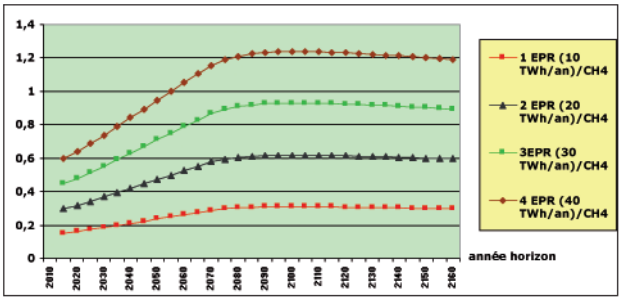
Graphique 6. Cumuls des effets des politiques méthane et EPR remplaçant une production d'électricité gaz et charbon 50/50



Source : Calculs des auteurs.

Le graphique 7 indique l'évolution au cours du temps des efficacités relatives des programmes 1 à 4 EPR et du programme méthane envisagé. Sur ce graphique, on a fait figurer le rapport des ordonnées du graphique précédent, à savoir (1 EPR)/ méthane, (2 EPR)/ méthane, et ainsi de suite. Le graphique 7 montre que l'implantation de 3 EPR n'arrive pas à rejoindre en efficacité la politique méthane proposée sur la période 2020 - 2150. Par contre, la politique 4 EPR rejoint en efficacité la politique méthane en 2055 et atteint 19 % d'efficacité supplémentaire par rapport à la politique méthane de 2080 à 2160. Dans le cas où les EPR se substituent à des cycles combinés à gaz, moins émetteurs de CO_2 (400g/kWh), on trouve des résultats du même type, mais il faut alors 5 EPR pour atteindre l'efficacité de la politique méthane proposée.

Graphique 7. Efficacité relative des politiques EPR remplaçant électricité, gaz et charbon 50/50 et méthane



Source : Calculs des auteurs.

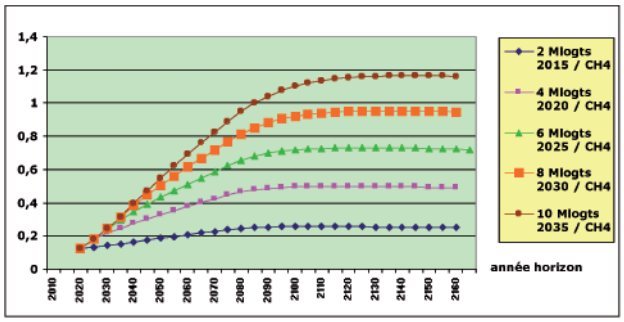
5.1.2 Récupération du méthane des décharges *versus* un programme de réhabilitation du parc d'habitat ancien

Il s'agit d'un programme de réhabilitation lourde de l'habitat ancien (construit avant les années 1975), proposé dans le cadre du Grenelle de l'environnement par l'association Négawatt, qui a l'ambition, en 40 ans (2010-2050), de faire tomber la consommation moyenne d'énergie des logements de 250 kWh/m^2 d'énergie primaire, pour un coût de l'ordre de 20 000 euros par logement. Ce programme envisage la rénovation de 400 000 logements par an pendant 40 ans, soit 16 millions de logements d'ici 2050, avec une économie moyenne d'émission de 2,5 tonnes de CO_2 par logement[23] et une durée de vie des réhabilitations de 60 ans. Le

22. Hypothèses : émissions de CO_2 de l'électricité ex charbon = 0,8 kg par kWh, émissions de l'électricité ex gaz = 0,4 kg par kWh, émissions EPR négligeables.
23. Hypothèse : économie de 250 kWh d'énergie primaire/m2/an, sur les logements antérieurs à 1975 de 72 m^2 en moyenne. En France, le chauffage des logements anciens correspond à 64 % de fossiles (35 % de gaz et 25 % de pétrole, 4 % pour le charbon et la part fossile de l'électricité).

graphique 8 permet de comparer cette politique, entre 2010 et 2035, à celle de la récupération du méthane des décharges. Elle montre que la politique méthane a des conséquences du même ordre sur toute la période que la réhabilitation de 400 000 logements anciens chaque année pendant 25 ans.

Graphique 8. Efficacité relative des politiques de réhabilitation par rapport à la politique CH_4

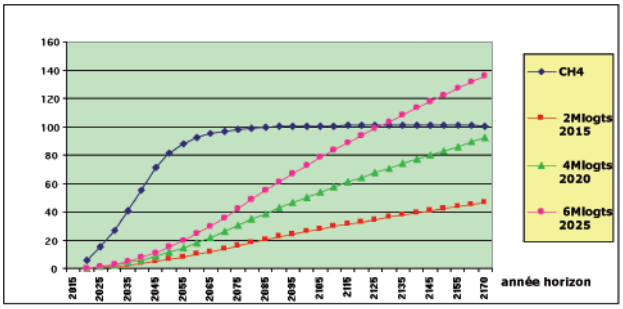


Source : Calculs des auteurs.

5.1.3 Sensibilité des résultats

Il est intéressant de compléter cette information en examinant la sensibilité des résultats trouvés à la durée de vie des politiques mises en place. A ce titre, on a fait l'hypothèse que les mesures de captation du méthane avaient une durée de vie réduite à 30 ans (au lieu d'être pérennes), tout en maintenant l'hypothèse d'une durée de vie de 60 ans pour les mesures de réhabilitation. Le graphique 9 indique les résultats obtenus. La courbe « 6 millions de logements » vient croiser la courbe réduction du méthane en 2130, alors qu'elle ne la croisait jamais pour une réduction pérenne du CH_4. Cet exemple montre l'importance qu'il faut accorder aux politiques de réduction à durée de vie longue, voire pérennes, des émissions de méthane, qui, quand elles sont envisageables techniquement et économiquement, donnent des résultats très intéressants en termes d'effets sur les décennies qui viennent et qui restent comparables à ceux de politiques ambitieuses d'économie d'énergie ou de substitution d'énergie jusqu'à la fin du siècle.

Graphique 9. Cumuls des effets d'une politique méthane implantée d'ici 2015 (durée de vie 30 ans) et de politiques de réhabilitation de logements (400 000 /an, durée de vie 60 ans)



Source : Calculs des auteurs.

5.2 Les conséquences à moyen terme des politiques publiques récentes de différents pays vis-à-vis du méthane

Les politiques suivies dans un passé récent vis-à-vis du méthane par différents pays vont avoir, au cours du présent siècle, des effets qu'il est intéressant d'examiner.

5.2.1 L'Allemagne et la France

En France et en Allemagne, les politiques menées depuis 1990 ont conduit aux évolutions des émissions de méthane et de gaz carbonique rappelées dans le tableau 9.

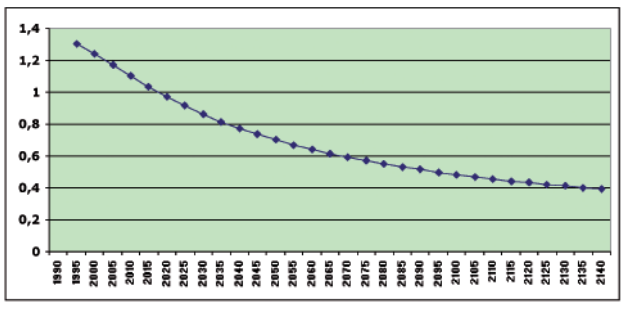
Tableau 9. Emissions de CH_4 et de CO_2 en Allemagne et en France de 1990 à 2004

CH_4 ktonnes	1990	2004	Δ %
Allemagne	**4157**	**2376**	**-43**
Dont : Energie	*918*	*697*	*-24*
Agriculture	*1420*	*1100*	*-23*
Déchets	*1820*	*577*	*-68*
France	**3243**	**2980**	**-8**
Dont : Energie	*495*	*454*	*-8*
Agriculture	*2130*	*1951*	*-8,40*
Déchets	*576*	*543*	*-6*
CO_2 Mtonnes	**1990**	**2004**	Δ
Allemagne	**976**	**839**	**-14**
France	**358**	**345**	**-4**

Source : Enerdata.

On constate une très grande différence d'évolution des émissions de méthane entre les deux pays et cela quelque soit le secteur : plus de 40 % de réduction en 14 ans pour l'Allemagne contre 8 % en France. Si cette différence d'évolution s'explique assez aisément pour l'énergie, du fait de l'abandon partiel du charbon en Allemagne et de la fermeture des mines, elle ne s'explique, pour les autres secteurs, que par des politiques différentes dans les deux pays, par exemple pour le traitement des déchets. Au cours de cette période, l'Allemagne a aussi réduit ses émissions de CO_2 de 14 %, la France de 4 %. On peut apprécier, pour chacun des deux pays, les contributions relatives à la lutte contre le réchauffement entraînées par ces différentes réductions*, en faisant l'hypothèse qu'elles resteront acquises jusqu'à la fin du siècle actuel*. C'est l'objet des graphiques 10 et 11.

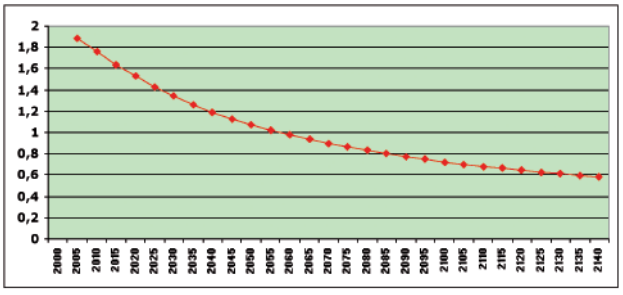
Graphique 10. Efficacité comparée des politiques de réduction de méthane et de CO_2 en Allemagne de 1990 à 2005



Source : Calculs des auteurs.

En Allemagne, les réductions de méthane obtenues en 2005 ont des conséquences analogues à celles de CO_2 obtenues sur la même période jusqu'en 2020 et sont encore de 70 % de ces dernières en 2050. Elles tombent autour de 40 % en 2150.

Graphique 11. Efficacité comparée des politiques de réduction de méthane et de CO_2 en France entre 1990 et 2005



Source : Calculs des auteurs.

En France, les réductions de méthane obtenues en 2005 ont des conséquences supérieures à celles de CO_2 obtenues sur la même période jusqu'en 2070, et restent encore de 60 % en 2150. Dans les deux cas, la contribution de la réduction des émissions de méthane à la réduction du bilan radiatif global est loin d'être négligeable par rapport à celle du CO_2, même dans le cas de l'Allemagne qui pourtant, pendant la même période, a réussi à faire chuter ses émissions de CO_2 de 14 % (1 % par an).

5.2.2 La Tunisie et le Mexique

Ces pays en croissance vont, selon toute vraisemblance, voir croître leurs émissions de CO_2 au cours des décennies qui viennent, même s'ils arrivent à faire décroître significativement l'intensité énergétique de leurs économies. Il n'est, en revanche, pas inéluctable que leurs émissions de CH_4 suivent la même évolution, si des programmes adaptés sont mis en place. Il est intéressant d'examiner le passé récent de ces pays pour prendre la mesure de la contribution de telles politiques sur leurs bilans futurs.

En Tunisie, les émissions fugitives du système énergétique

En Tunisie, les émissions de méthane et de CO_2 du *secteur énergétique*, qui en milieu de période (1997) représentaient 53 % de l'ensemble des émissions de GES du pays ont évolué de 1990 à 2003 selon le tableau 10.

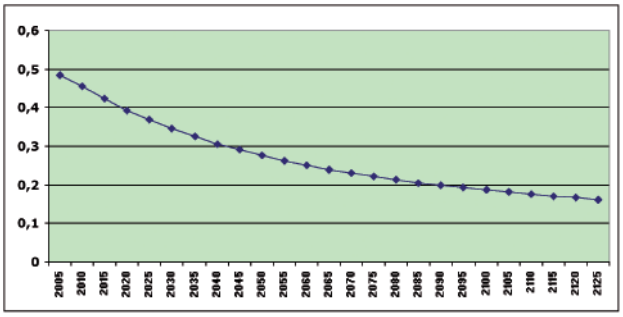
Tableau 10. Evolution des émissions de CH_4 et de CO_2 du secteur énergie en Tunisie de 1990 à 2003

	1990	1993	1996	1999	2003	Δ %
CH_4 (ktonnes)	46,4	46,6	55,3	66	85	83
dont						
Emissions fugitives	33,7	34,2	42,9	53,4	71,9	114
Autres	12,7	12,4	12,4	12,7	12,9	1
CO_2 (ktonnes)	12927	14589	15764	18314	20778	61

Source : Evolution of CHG Emissions due to Energy in Tunisia 1990-2003, ministère de l'Industrie, Tunisie, décembre 2005.

L'augmentation des émissions de CH_4, nettement plus rapide que celle de CO_2 sur la période, est presque totalement due à celle des émissions fugitives de CH_4 (7,2 %/an) consécutives au développement des champs gaziers du pays. L'influence relative de ces surcroîts d'émissions de CH_4 et CO_2 sur le siècle, qu'on a supposé pérennes, fait l'objet du graphique 12.

Graphique 12. Contribution relative au renforcement de l'effet de serre du méthane et du CO_2 de 1990 à 2003 par le secteur énergie en Tunisie



Source : Calculs des auteurs.

En 2050, les émissions fugitives des années 90-2003 auront encore contribué à 28 % de l'effet des émissions de CO_2 de la même période du système énergétique tunisien, ce qui est loin d'être négligeable. Il est donc important pour la Tunisie, si elle ambitionne de réduire sa contribution au réchauffement climatique, d'engager une politique volontariste pour éliminer autant que faire se peut ces émissions fugitives.

Au Mexique, les émissions des décharges

Au Mexique, les émissions de gaz carbonique ont augmenté de 28 % entre 1990 et 2002 et celles de méthane de 34 %. Cette forte croissance des émissions de méthane est essentiellement due à la mise en place, au cours de cette période, de systèmes de collecte et de mise en décharge des ordures ménagères et d'installations d'épuration des eaux usées comme le montre le tableau 11.

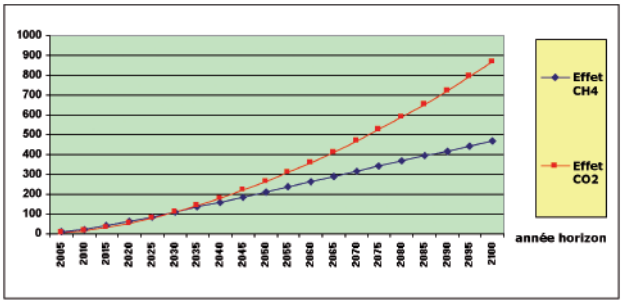
Tableau 11. Evolution des émissions de CO_2 et de CH_4 au Mexique de 1990 à 2002

Mexique Mtonnes	1990	2002	Δ %
CO_2	283	393	28%
CH_4	4,5	6,8	34%
dont			
Emissions fugitives	1,57	1,85	18%
Déchets et eaux usées	1,45	3	207%

Source : Third national communication of Mexico submitted to UNFCCC, 2006.

Mais ces mesures, évidemment indispensables du point de vue sanitaire, n'ont pas été accompagnées, semble-t-il, de dispositions suffisantes pour capter le méthane produit par la décomposition des produits organiques en décharge et par le traitement des eaux usées. Le graphique 13 montre les conséquences des émissions de cette période sur le renforcement de l'effet de serre au cours du siècle. En 2020, les effets des émissions supplémentaires de méthane sont 15 % plus importants que ceux provoqués par le surcroît de CO_2, équivalents en 2035, encore de 65 % en 2075 et de 54 % en 2100.

Graphique 13. Effet comparé des émissions supplémentaires de CH_4 et CO_2 de 2002 par rapport à 1990 au Mexique jusqu'en 2100



Source : Calculs des auteurs.

5.3 Un exemple de programme à venir : le Plan climat en Chine

Le 4 juin 2007, la Chine a publié sa première stratégie nationale pour lutter contre le changement climatique. Elaboré par la Commission d'Etat du développement et de la réforme, le Programme national de lutte contre le changement climatique (PNLCC) comporte une série de mesures et d'objectifs chiffrés à l'horizon 2010. En particulier, celles qui concernent l'énergie peuvent se résumer sous la forme du tableau 12.

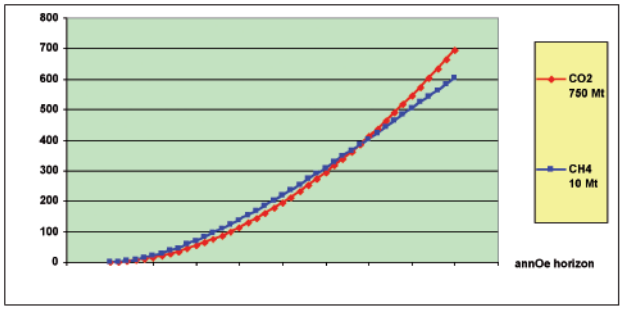
Tableau 12. Emissions de GES évitées (en Mtonnes) des mesures prévues par le Programme national de lutte contre le changement climatique de Chine dans le domaine de la production et de la transformation d'énergie à l'horizon 2010

Secteur/ technologie	Emissions évitées en 2010 (Mtonnes)
Hydraulique	500 (CO_2)
Nucléaire	50 (CO_2)
Centrales thermiques	110 (CO_2)
Récupération du CH_4 des mines de charbon	10 (CH_4)
Bioénergies et ENR	90 (CO_2)
Total	750 (CO_2), 10 (CH_4)

Source : Chine : énergie et émissions de gaz à effet de serre, Marc Tuddenham, Citepa , 2007.

Le graphique 14 permet de comparer dans le temps les conséquences des politiques CO_2 et CH_4 ainsi décrites.

Graphique 14. Conséquences à moyen terme des politiques CO_2 et méthane du PNLCC chinois



Source : Calculs des auteurs.

On constate que, jusqu'en 2040, la politique de captage du grisou des mines a autant d'importance que l'ensemble des autres politiques de diversification énergétique engagées, pourtant très ambitieuses, et encore 85 % de cette importance en 2050. La réussite de cette politique est donc cruciale à moyen terme pour ce pays dont les besoins énergétiques croissent de façon rapide. Ces exemples rétrospectifs et prospectifs montrent l'importance et la diversité des possibilités de lutte contre le changement climatique qui s'offrent à des pays aux caractéristiques géographiques, sectorielles et économiques très diverses dans le domaine de la réduction des émissions de méthane.

6. Eléments économiques

6.1 Deux logiques

Du point de vue économique, les différentes technologies envisagées pour réduire les émissions de méthane présentent des aspects très différents selon que le méthane évité provient d'une économie réelle de méthane (il n'est pas émis) ou au contraire du captage et éventuellement de la valorisation du méthane considéré comme fatalement émis. En effet, dans le premier cas, les acteurs économiques n'ont aucun intérêt à réaliser les investissements nécessaires sans incitation, par exemple des quotas à respecter ou une taxe à payer sur les émissions. Dans le second, la valorisation de l'émission de méthane sur le marché, qui dépend bien entendu de circonstances économiques générales (prix du gaz naturel et plus généralement de l'énergie) mais aussi de circonstances locales (par exemple la présence d'un gazoduc ou d'une industrie consommatrice proches) peut justifier à elle seule l'investissement de moyens de captage, de transport et de transformation nécessaires à la valorisation du produit sur le marché. Bien entendu, dans un tel cas, l'incitation représentée par une réglementation ou une taxe vient augmenter la rentabilité du projet. C'est ainsi qu'en Europe aujourd'hui, dans le contexte de forte croissance des prix du pétrole et du gaz naturel, la valorisation du méthane des décharges par une utilisation thermique ou électrique suffit généralement à rentabiliser le projet. Il est bien évident qu'il ne saurait en être de même par exemple pour des pratiques de culture ou d'élevage plus économes en CH_4 ou de torchage d'émissions de méthane d'une décharge ou d'une mine. Dans ce cas, seules des incitations de natures diverses sont susceptibles d'entraîner les investissements et les pratiques nécessaires. Ainsi, quand on analyse les différents secteurs et technologies d'intervention de réduction des émissions de méthane, on peut les classer en deux catégories principales : celles qui permettent la production et la valorisation d'un bien matériel et celles qui procèdent avant tout d'une volonté de réduction des émissions de méthane.

a) Celles qui permettent la production et la valorisation d'un bien matériel (un produit énergétique) qui rencontre un marché. On trouve alors des acteurs (producteurs et consommateurs) qui assurent la réduction des émissions de méthane souhaitée, éventuellement, mais pas systématiquement, avec l'aide d'incitations réglementaires ou fiscales.

On trouve dans cette catégorie :

- le captage et la valorisation du méthane des décharges en Europe, soit par injection, après filtrage du gaz, sur les réseaux de gaz naturel, soit par transformation et distribution d'électricité et de chaleur ;

- le méthane à la ferme, très développé dans les pays du nord de l'Europe (et dans des pays asiatiques comme le Vietnam), où les subventions applicables aux énergies renouvelables (dont le biogaz) assurent la rentabilité d'installations de cogénération électricité chaleur qui utilisent le biogaz produit à la fois par les déchets d'élevage (fumiers et lisiers) et les résidus agricoles d'une ou d'un groupe de fermes. En Allemagne par exemple, il existe plusieurs milliers d'installations en fonctionnement[24]. Il faut noter que ces installations n'ont pas originellement pour but de réduire les émissions de méthane pour des raisons de

24. www.biogaz.atee.fr

lutte contre le changement climatique, mais de valorisation énergétique des déchets agricoles. Cela peut conduire à la transformation en biogaz de déchets qui, sans cela, n'en auraient pas ou peu produit. Dans le cadre de la lutte contre les émissions de CH_4, il faut donc être très attentif à l'étanchéité des dispositifs de méthanisation pour éviter toute fuite qui remettrait en cause l'intérêt de cette production supplémentaire de biogaz ;

- le captage du méthane issu des mines de charbon. Dans les mines de charbon, il y a trois sources principales de méthane : celui drainé avant la mise en exploitation de la mine, qui contient de 65 à 90 % de CH_4, celui contenu dans l'air de ventilation de la mine, à concentration très faible (0,1 à 1 %), enfin celui drainé des zones déjà exploitées de la mine qui contient 30 à 95 % de CH_4. Les gaz de drainage dont la teneur de CH_4 dépasse 30 % peuvent être utilisés directement pour produire de l'électricité ou injectés sur le réseau de gaz après purification. Aux Etats-Unis par exemple, 27 % du méthane de drainage des mines est ainsi valorisé ;

- le méthane issu des puits de pétrole, qui fait l'objet d'une valorisation chaque fois qu'une utilisation locale est possible (production d'électricité pour les auxiliaires du champ pétrolier ou fourniture directe à une industrie proche).

b) Celles qui procèdent avant tout d'une volonté de réduction des émissions de méthane, et pour lesquelles la valorisation énergétique n'est pas envisageable économiquement ou n'a pas lieu d'être (réduction à la source).

C'est le cas notamment pour :

- le gaz de ventilation des mines qui représente généralement plus de 60 % du total du gaz émis par la mine au cours de sa vie. En attendant la confirmation industrielle de procédés de valorisation de ce gaz de ventilation, les procédés actuels d'élimination reposent sur l'oxydation thermique ou catalytique du méthane sous très faible concentration[25] ;

- les gaz torchés sur champ dans le domaine pétrolier, quand les conditions de valorisation ne sont pas remplies :

- les fuites de gaz des systèmes de transport, stockage et distribution du gaz naturel dont la réduction n'est pas justifiée par des gains commerciaux ou des considérations de sécurité pour des distributeurs de gaz naturel ;

- les pratiques agricoles économes en émissions de méthane pour la culture du riz ou l'élevage qui ne se traduisent pas par une amélioration des rendements ou par des gains de productivité.

Dans tous ces cas, une incitation réglementaire ou financière (quotas, taxe, subvention) est indispensable pour déclencher les investissements ou susciter les pratiques qui conduisent aux réductions d'émissions souhaitées. On se trouve dans une situation analogue à celle d'économies d'énergie qui seraient profitables à la collectivité mais dont l'investisseur ne profiterait pas directement par une réduction de ses dépenses de fonctionnement.

A l'issue de ce rapide tour d'horizon on constate une très grande hétérogénéité des situations selon les secteurs et les technologies de réduction des émissions de méthane. La programmation de l'action et les politiques d'incitation, pour être efficaces, doivent tenir le plus grand compte de ces spécificités.

6.2 Méthane et marché du carbone

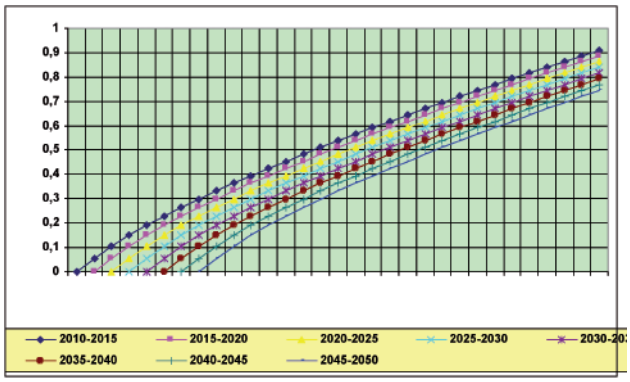
Les considérations précédentes et celles concernant la sous-estimation du méthane développées au chapitre 2 amènent à se poser des questions sur la pertinence et les limites d'un choix d'objectifs indifférenciés de réduction des émissions des différents gaz à effet de serre et d'un marché unique du carbone à travers la définition d'un coefficient d'équivalence entre les différents GES. C'est d'autant plus

25. ibid note 10.

vrai que la durée de vie des mesures de réduction des émissions de méthane et de CO_2 entraîne des conséquences très différentes.

L'analyse à laquelle nous nous sommes livrés dans l'annexe 1 permet d'apporter des éléments de réponse chiffrés à cette question de la durée de vie des mesures de réduction des émissions de CH_4 et de CO_2. Nous allons l'illustrer à partir d'un exemple simple. Imaginons une mesure de réduction d'émission de CO_2 de 1 kg par an mise en place à partir de 2010 et dont la durée de vie est de 40 ans. Sur le graphique 15, on voit l'évolution du forçage intégré d'une économie de 1kg de CO_2 par périodes sucessives de 5 ans pendant 40 ans.

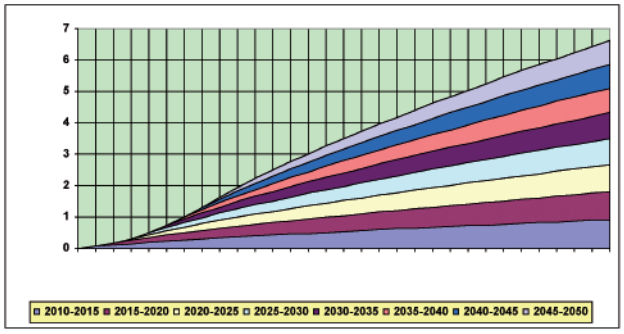
Graphique 15. Forçage radiatif évité par chacune des périodes successives de 5 ans d'une mesure de suppression d'une unité de masse de CO_2 pendant 40 ans



Source : Calculs des auteurs.

Le graphique 16 représente l'évolution du forçage engendré par le cumul de ces mesures, sur 10, 15, 20…. 40 ans.

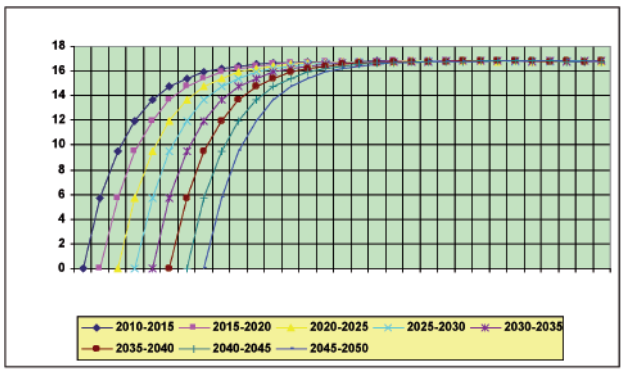
Graphique 16. Forçage radiatif évité par une mesure de suppression en 2010 d'une unité de masse de CO_2 de 40 ans de durée de vie



Source : Calculs des auteurs.

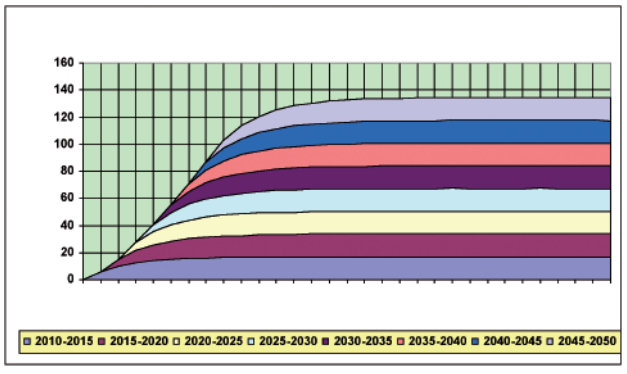
Sur ce graphique, on peut observer que le forçage radiatif cumulé de la mesure croît lentement avec le temps puisque, en 2160, il sera encore loin d'avoir atteint son maximum et continuera encore à croître significativement. C'est très différent pour le méthane, comme le montrent les graphiques 17 et 18. Les pentes initiales des courbes sont beaucoup plus raides : le forçage cumulé de la mesure de 40 ans croît très vite. Il atteint son asymptote dès 2070 ou 2080 avec plus de 99 % de sa valeur à 500 ans.

Graphique 17. Forçage évité par chacune des périodes de 5 ans d'une mesure de suppression d'une unité de masse de CH_4 pendant 40 ans



Source : Calculs des auteurs.

Graphique 18. Forçage radiatif évité par une mesure de suppression en 2010 d'une unité de masse de CH_4 de 40 ans de durée de vie



Source : Calculs des auteurs.

L'influence de la durée de vie d'une mesure de réduction d'émission est donc très différente pour le gaz carbonique et le méthane. Le tableau 13 illustre l'importance de cette remarque.

Tableau 13. Forçage radiatif évité en fonction de la durée de l'émission ou de l'émission évitée

GES	Durée d'émission ou d'émission évitée	Année horizon									
CH_4		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	10 ans	5,5	8,6	9,5	9,8	9,9	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
	20 ans	5,5	12,5	17,1	18,8	19,5	19,8	19,9	20,0	20,0	20,0
	30 ans	5,5	12,5	20,5	26,1	28,3	29,3	29,7	29,9	29,9	30,0
	40 ans	5,5	12,5	20,5	29,3	35,4	38,0	39,2	39,6	39,8	39,9
	50 ans	5,5	12,5	20,5	29,3	38,6	45,1	47,9	49,1	49,6	49,8
	60 ans	5,5	12,5	20,5	29,3	38,6	48,2	54,9	57,8	59,0	59,6
	pérenne	5,5	12,5	20,5	29,3	38,6	48,2	58,0	67,9	77,9	87,9
CO_2		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
	10 ans	5,2	7,8	8,6	9,0	9,2	9,4	9,4	9,5	9,6	9,6
	20 ans	5,2	10,7	14,2	15,9	16,8	17,4	17,8	18,0	18,3	18,5
	30 ans	5,2	10,7	16,3	20,3	22,6	23,9	24,9	25,6	26,1	26,5
	40 ans	5,2	10,7	16,3	22,0	26,3	29,0	30,7	32,0	32,9	33,7
	50 ans	5,2	10,7	16,3	22,0	27,7	32,2	35,2	37,3	38,8	40,0
	60 ans	5,2	10,7	16,3	22,0	27,7	33,4	38,1	41,3	43,6	45,4
	pérenne	5,2	10,7	16,3	22,0	27,7	33,4	39,1	44,8	50,5	56,2

L'échelle horizontale de ce tableau représente les périodes de temps sur lesquelles on souhaite évaluer les conséquences intégrées d'une émission de CH4 ou de CO2, l'échelle verticale, la durée d'émission ou de réduction d'émission depuis le début de période.

Source : Calculs des auteurs.

Le tableau 13 se lit donc ainsi : sur une période de 100 ans, l'effet sur le climat engendré par la réduction d'émission de 1 kg de CH_4 pendant les 30 premières années est équivalent à celui de la réduction d'émission de 30 kg de CH_4 la première année. Mais, sur la même période de 100 ans, l'effet engendré par la réduction d'émission pérenne de 1kg de CH_4 n'est équivalent qu'à celui d'une réduction d'émission de 87,9 kg de CH_4 la première année (au lieu de 100 kg comme on aurait pu l'imaginer). De même sur une période de 100 ans, l'effet engendré par la réduction d'émission de 1 kg de CO_2 pendant les 30 premières années est équivalent à celui de la réduction d'émission de 26,5 kg de CO_2 la première année, et l'effet engendré par la réduction d'émission pérenne de 1 kg de CO_2 n'est équivalent qu'à celui d'une réduction d'émission de 53,5 kg de CO_2 la première année (au lieu de 100 kg, comme on aurait pu l'imaginer).

Par conséquent deux résultats importants :

- l'effet global d'une réduction d'émission sur le climat dépend de son profil temporel ;
- la variation dans le temps de cet effet est spécifique à chaque gaz : dans le cas du CH_4, les écarts d'effet entre une émission ponctuelle en début de période ou répartie sur plusieurs années ou décennies restent faibles. Ce n'est pas le cas pour le CO_2, pour lequel les différences sont beaucoup plus sensibles.

La physique des phénomènes conduit donc à deux constats déterminants :

a) Le choix d'objectifs de réduction d'émissions multigaz exprimés en tonnes eq CO_2 occulte le fait que des stratégies d'action qui ne mettent pas l'accent sur les mêmes GES ont un impact différent sur le climat, quand bien même elles seraient considérées comme équivalentes au regard de leur bilan en tonnes eq CO_2, ce qui est évidemment de nature à remettre en cause l'emploi de ce concept.

b) Le postulat selon lequel il serait légitime d'établir, *via* une unité de mesure commune, telle que la tonne équivalent CO_2, des équivalences entre des actions très diverses (sectoriellement ou géographiquement) est infirmé dès lors que l'on prend vraiment en compte le temps de vie des investissements de réduction des émissions avec, de surcroît, des évolutions spécifiques à chacun des gaz.

Dans ces conditions, on voit bien les distorsions auxquelles risque de conduire la mise en place d'un marché unique du carbone, sensé optimiser l'ensemble des actions sur les différents gaz à effet de serre quelque soit l'horizon de temps auquel on s'intéresse. On pourrait songer à corriger le coefficient d'équivalence entre le CH_4 et le CO_2 et l'adapter ainsi aux préoccupations à plus court terme de la communauté internationale. Mais, en augmentant très sensiblement ce coefficient (d'un facteur au moins égal à 3 par exemple à l'horizon 2040), on risque de voir le marché, en se détournant totalement des actions concernant le CO_2 au profit d'actions CH_4 soudain beaucoup plus rentables, laisser s'accumuler un retard dangereux sur les actions CO_2 indispensables pour garantir le long terme[26].

26. Sans compter les risques d'effondrement de la bourse du carbone que pourrait entraîner le choix d'un coefficient beaucoup plus favorable qu'actuellement au CH_4 qu'au CO_2.

7. Des conclusions pour l'action

7.1 Il est indispensable et urgent de s'occuper sérieusement du CH_4

Les plus récentes études du GIEC montrent que la question climatique se pose à plus court terme que ne l'imaginent généralement les décideurs. Selon ces études, il ne suffit pas, en effet, de limiter au prochain siècle la concentration de l'ensemble des gaz à effet au-dessous d'un certain seuil (de l'ordre de 400 à 450 ppm), il faut aussi y parvenir par un trajet qui ne conduise pas, au cours du présent siècle, à des irréversibilités du climat, qui rendraient la cible finale inatteignable. Il est donc indispensable d'agir à court terme pour corriger la croissance actuelle encore très rapide des émissions de GES (3 %/an) et limiter ainsi, dans les décennies qui viennent, leur concentration à un niveau inférieur à 500 ppm. Dans ce contexte, l'emploi d'une équivalence à 100 ans des effets du CH_4 par rapport au CO_2 (un coefficient 21) conduit à une sous-estimation des effets du CH_4 au cours du présent siècle d'un facteur 4 à court terme (20 ans) à 2 à la fin du siècle. Aujourd'hui, la plupart des décideurs, s'appuyant sur l'équivalence à 100 ans (et donc valable pour les effets en 2108 d'une émission de CH_4 en 2008[27]), focalisent toute leur attention sur les réductions du gaz carbonique et négligent largement le méthane et le protoxyde d'azote, qui ne font l'objet d'aucun plan international d'envergure. C'est particulièrement préoccupant pour le méthane, dont le potentiel de réchauffement global croît très vite quand l'horizon d'observation se rapproche.

7.2 Les conséquences d'une politique mondiale de réduction des émissions de méthane dans les décennies qui viennent sont considérables

La comparaison de stratégies d'action portant uniquement sur le CO_2 ou à la fois sur le méthane et le CO_2 montrent que ces dernières sont loin d'être marginales par rapport à celles qu'on peut engager sur le seul CO_2. Si deux programmes de réduction des émissions mondiales sont engagés au même rythme à partir d'aujourd'hui, atteignant en 2030 -40 % pour le CO_2 et -30 % pour le CH_4, l'efficacité du programme CH_4 atteint la moitié de celle du programme CO_2 en 2030, est encore de 44 % de celle-ci en 2040 et de 39 % en 2050.

7.3 Les potentiels de réduction des émissions de méthane sont importants à court et moyen termes (de l'ordre de 30 % à l'horizon 2030), aussi bien dans les pays industriels que dans les pays émergents

Les émissions de méthane mondiales actuelles, de l'ordre de 360 Mtonnes, assez uniformément réparties sur l'ensemble du globe, proviennent pour près de 40 % de l'agriculture et de l'élevage, ensuite des systèmes énergétiques (charbon, gaz et pétrole, 33 %) et des décharges d'ordures ménagères (23 %). Une première analyse permet d'estimer le potentiel

27. Cela vaut pour la comparaison des effets de deux émissions ponctuelles. Si l'on raisonne sur des émissions évitées de façon pérenne, l'équivalence est repoussée à environ 250 ans.

de réduction de ces émissions à 30 % environ à échéance de 20 ans : environ 50 Mtonnes pour l'ensemble des systèmes énergétiques, 40 à 45 Mtonnes pour les décharges, 10 à 20 Mtonnes pour l'élevage et l'agriculture, au total 100 à 115 Mt.

7.4 Ces potentiels sont mobilisables à des coûts raisonnables à court terme sans remettre en cause le développement

Une part importante de ces potentiels de réduction d'émissions (ordures ménagères, une proportion importante des fuites des systèmes énergétiques) est économiquement mobilisable au simple titre d'une valorisation énergétique du méthane dans le contexte actuel des prix des combustibles fossiles. Pour l'autre part, des incitations réglementaires ou fiscales sont indispensables.

Dans les pays dits « industrialisés » où la contrainte est considérable puisqu'il faut diviser par 4 les émissions de GES à l'horizon 2050, toute action d'envergure sur le CH_4 permettra de desserrer la contrainte temporelle très forte qui pèse sur les réductions de CO_2, dont une bonne part exige des mesures structurelles : isolation du parc immobilier ancien, infrastructures nouvelles de transport ferroviaire, densification de l'urbanisme, etc., dont le calendrier de mise en œuvre porte sur plusieurs décennies. La plupart des mesures de réduction des émissions de méthane envisageables peuvent au contraire être mises en place sur une période d'une dizaine d'années à des coûts généralement modestes. C'est le cas en particulier pour les actions de méthanisation ou de capture de méthane des déchets ou des effluents.

Dans les pays en développement et les pays émergents, même si les efforts indispensables de maîtrise de l'énergie et de diversification énergétique sont entrepris, l'indispensable croissance économique ne peut manquer de conduire, au moins temporairement, à un accroissement des émissions de CO_2, principalement liées au système énergétique. Par contre, le couplage entre croissance économique et émissions de CH_4 de ces pays est loin d'être inéluctable. La recherche d'un découplage massif et rapide de la croissance des émissions de méthane et de la croissance du PIB devrait donc constituer une opportunité majeure pour les pays émergents sur le chemin d'une maîtrise de la croissance de leurs émissions de GES à moyen terme (20 à 60 ans). D'autant que les investissements correspondants peuvent être souvent rentabilisés par la fourniture d'un service énergétique nouveau (le gaz à la ferme par exemple) ou d'un substitut aux combustibles et carburants fossiles.

7.5 Définir des programmes et des outils adaptés

La définition de programmes d'action à court et moyen terme, aussi bien dans les pays industrialisés que dans les pays en développement, se heurte tout d'abord à l'imprécision, voire à l'absence, de données sectorielles sur les émissions de méthane actuelles. La plupart des données publiées par les différents pays, en particulier hors annexe 1 remontent à 1994, voire à 1990.

Il est donc urgent d'établir une banque de données fiable, pays par pays et secteur par secteur, des émissions, sur une base des quantités physiques de méthane émises et non plus comme on le voit trop souvent (lorsque les données existent) sur la base d'une équivalence en CO_2 à 100 ans dont on a vu le caractère très réducteur. Cette base de données précise est indispensable à la prise de conscience des enjeux sectoriels pour les décideurs de chaque pays engagé dans la lutte contre le réchauffement climatique et au suivi des programmes de réduction d'émissions à engager dans la prochaine décennie. En parallèle, il convient **d'engager la définition et la négociation de programmes d'action prioritaires, pays par pays,** sur la base d'une première analyse des potentiels sectoriels les plus importants et les plus accessibles. Cela suppose bien évidemment une information et une

sensibilisation aux enjeux et aux conséquences qu'on peut attendre de ces programmes auprès de responsables publics et d'acteurs socio-économiques généralement très peu concernés par les émissions de méthane, même quand ils le sont sur le climat. Ces informations concernent aussi bien l'ampleur et la nature des potentiels de réduction des émissions sectorielles que les technologies à mettre en œuvre ou les conditions économiques de leur mise en œuvre.

Enfin, il nous paraît indispensable d'encadrer cette démarche par **un renouvellement de la réflexion concernant les objectifs mêmes de la négociation climat**. En effet, à l'issue de notre analyse, il apparaît nettement que la fixation d'objectifs de réduction d'émissions multigaz, traduits par un objectif unique de réduction en teq CO_2, présente des effets pervers importants puisque :

- si l'on insiste trop sur la réduction du CH_4 au détriment du CO_2 pour des raisons de court et moyen termes, on risque de ne pas atteindre les objectifs de stabilisation à long terme des concentrations de GES ;

- si l'on néglige les réductions de CH_4, on renforce le risque d'apparition à court et moyen termes d'irréversibilités dangereuses du climat.

Il paraît important, dans ces conditions, de définir des objectifs de réduction des GES gaz par gaz, tout au moins pour ceux qui, comme le méthane, ont des pouvoirs de réchauffement global qui varient très vite avec le temps. De même, il ne paraît pas pertinent de pérenniser un marché du carbone englobant sans discrimination, comme c'est le cas aujourd'hui, des gaz à effet de serre aussi différents dans leurs conséquences temporelles sur le climat que le CH_4 et le CO_2.

Annexe 1. Réchauffement climatique : importance du méthane

Benjamin Dessus, Bernard Laponche, Hervé Le Treut (janvier 2008)

1. Les objectifs de la lutte contre le réchauffement climatique

Dans sa séance du 30 octobre 2007, le dernier Conseil de l'environnement de l'Union européenne fait sienne la recommandation d'éviter un réchauffement global de plus de 2 degrés et « *la nécessité de stabiliser la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère à environ 450 ppmv d'équivalent CO_2* » et rappelle que *« pour ce faire, ces émissions devront atteindre leur maximum dans les 10 ou 15 ans qui viennent pour atteindre un niveau inférieur d'au moins 50 % à celui de 1990 d'ici 2050* ». Il souligne enfin que, « *pour atteindre cet objectif, il faudrait que le groupe des pays développés réduise collectivement ses émissions pour les ramener d'ici 2020, à un niveau de 25 à 40 % inférieur à celui de 1990 et fait remarquer que la proposition de l'UE de réduction des émissions est compatible avec un tel niveau d'efforts* ». Dans ce texte, la « concentration de 450 ppmv d'équivalent CO_2 » s'entend comme la présence simultanée dans l'atmosphère d'un ensemble de gaz à effet de serre (CO_2, CH_4, N_2O, etc) à des concentrations diverses qui n'ont pas tous le même effet sur le réchauffement mais dont on peut estimer l'effet comme équivalent à celui qu'aurait provoqué une concentration de 450 ppmv du seul gaz carbonique. Il existe, en effet, de nombreux gaz dont les émissions sont responsables du renforcement de l'effet de serre : CO_2, CH_4, N_2O, CFC, etc. Chacun de ces « gaz à effet de serre » (GES) présente des caractéristiques propres d'absorption du rayonnement et de durée de vie dans l'atmosphère après son émission. Dans leurs modèles de simulation, les experts qui étudient les changements climatiques utilisent les données d'émission et de concentration de chacun d'entre eux dans différents scénarios d'évolution pour anticiper les modifications du climat. La recommandation de stabilisation à « 450 ppmv d'équivalent CO_2 » s'appuie donc sur les résultats de scénarios qui anticipent les réductions d'émission des différents GES indispensables à différents horizons pour contenir le réchauffement climatique dans une limite de l'ordre de deux degrés au début du siècle prochain : par exemple, une division par deux des émissions de CO_2, une réduction de 30 % des émissions de méthane et de N_20 en 2050 par rapport à 2000. Il est bien évident que si cet effort concomitant sur les différents gaz n'est pas effectué, la réduction de CO_2 envisagée ne permettra pas d'atteindre à elle seule la cible de 450 ppmv d'équivalent CO_2 et donc de limiter le réchauffement à 2 degrés. Pourtant, dans la suite du texte de ce même Conseil européen consacré aux efforts de réduction à réaliser, seuls les efforts de réduction du CO_2 sont cités. Les gaz à effet de serre autres que le CO_2 (méthane, oxyde nitreux, etc.) ne font l'objet d'aucune mention spécifique. De même, dans le Grenelle de l'environnement, après l'affirmation de la volonté de se conformer aux recommandations de l'UE, toutes les mesures proposées concernent la réduction des émissions du CO_2 sans qu'une seule fois, dans le document final, ne soit jamais mentionné le méthane.

2. Comptabilité des émissions de méthane et « Potentiel de réchauffement »

Ce manque d'intérêt apparent pour les autres gaz à effet de serre est sans doute à mettre en relation avec l'usage d'outils comptables très simplifiés destinés à évaluer leur rôle dans les politiques de réduction. La comptabilité en

« tonnes d'équivalent CO_2 » des émissions des différents gaz, qui s'est rapidement imposée chez les décideurs, a une signification très précise, mais elle ne s'adapte pas à tous les contextes et peut dans certains cas conduire à un effet optique de distorsion des enjeux. En effet, pour permettre une simplification de l'appréciation globale de l'incidence de ces émissions de ces différents gaz sur le changement climatique, il a été décidé d'utiliser des règles d'équivalence permettant de comptabiliser les émissions des GES autres que le CO_2 en une unité commune : la tonne d'équivalent CO_2 (teq CO_2). Celle-ci est communément définie sur la base de l'impact relatif de chaque gaz sur le réchauffement climatique par rapport à celui du CO_2, effet calculé sur une période de temps déterminée qui suit l'émission de chacun des gaz, par exemple 100 ans. Cet impact sur le climat est déterminé comme le cumul du forçage radiatif associé à un gaz donné sur toute la période considérée. Pour y parvenir, le GIEC[28] a proposé la notion de « Potentiel de réchauffement global »[29] (PRG). Le PRG indique la contribution relative au réchauffement de la planète pendant une période déterminée (par exemple 100 ans) d'une émission ponctuelle en début de période d'un kg d'un gaz à effet de serre particulier par comparaison avec la contribution sur la même période d'une émission ponctuelle d'un kg de CO_2. Les PRG calculés pour différents intervalles de temps prennent en compte les différences de durées de vie des différents gaz dans l'atmosphère. Le PRG du gaz CH_4 à l'horizon T et pour des émissions de l'année 0 est le rapport de l'intégrale de 0 à T de la fonction de décroissance dans le temps du CH_4, multipliée par l'efficacité radiative du CH_4, à l'intégrale de 0 à T de la fonction de décroissance du CO_2 sur la même période, multipliée par l'efficacité radiative du CO_2. Le numérateur de ce rapport est le « PRG absolu du CH_4 » et le dénominateur le « PRG absolu » du CO_2[30]. Dire que le PRG du méthane sur une période de 100 ans est de 21, c'est dire que l'émission ponctuelle de 1 tonne de CH_4 a une influence sur le climat équivalente à celle d'une émission ponctuelle de 21 tonnes de CO_2 sur la période de 100 ans suivant ces émissions.

La commodité d'utilisation de la teq CO_2 comme unité unique a conduit très vite à la généralisation de son emploi, qu'il s'agisse des émissions constatées, des émissions futures envisagées (dans les objectifs de politique climatique notamment), comme des émissions cumulées sur une certaine période (passée ou future). Dans la plupart des documents traitant des programmes de lutte contre le changement climatique, tout se passe comme si l'on avait affaire à un seul gaz, « équivalent CO_2 », dont il s'agit de réduire les émissions.

3. Les dangers d'une utilisation trop directe du Potentiel de réchauffement global

Mais alors que la première Conférence des parties à la Convention (COP 1 1995) se contentait de dire que « *les parties* ***peuvent appliquer*** *les potentiels de réchauffement du globe sur une période de 100 ans qui sont indiqués par le GIEC dans son rapport spécial de 1994 pour traduire leurs inventaires et projections en équivalent dioxyde de carbone* », l'utilisation des PRG sur une période de 100 ans est devenue très vite la règle. L'émission ponctuelle de 1 tonne de CH_4 en 2000 est comptée 21 teqCO_2[31] sur la base du cumul des effets respectifs de CH_4 et de CO_2 entre 2000 et 2100, et l'émission d'1 tonne de CH_4 en 2020 par exemple est comptée 21 teq CO_2 sur la base du cumul des effets respectifs de CH_4 et de CO_2 entre 2020 et 2120 : les effets d'une émission de CH_4 par rapport à ceux d'une émission de la même masse de CO_2 sont chaque année décalés de 100 ans. L'adoption d'une telle règle a des conséquences importantes sur l'appréciation relative du rôle des différents gaz. En effet, alors que l'utilisation de la notion d'équivalent CO_2, comme nous l'avons vu, ne présente aucune ambiguïté pour évaluer une concentration, son utilisation pour évaluer des émissions suppose impérativement de faire référence à une période d'intégration à partir de l'émission[32]. Comme la durée de vie

28. GIEC : Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (IPCC en anglais).
29. PRG : GWP en anglais (Global Warming Potential).
30. PRG absolu : AGWP en anglais (Absolute Global warming Potential).
31. Le coefficient 21 a été adopté notamment par le Protocole de Kyoto sur la base des publications du GIEC de 1995 et maintenu depuis.
32. L'équivalence CO_2 pour les concentrations et l'équivalence CO_2 pour les émissions sont deux concepts différents.

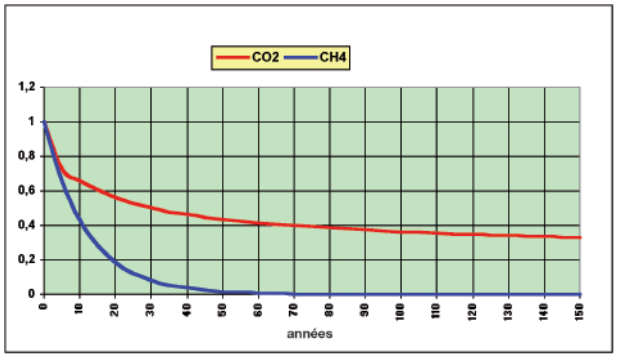
du méthane est courte (de l'ordre de 12 ans[33]) par rapport au temps de résilience du CO_2 dans l'atmosphère[34], le PRG du méthane varie de façon importante avec la période de temps choisie. Avec la règle du coefficient d'équivalence de 21 (PRG sur une période de 100 ans après la date d'émission), il est donc impossible d'évaluer l'influence à un horizon donné (2020 ; 2050 ; 2100) d'une émission de CH_4. Pour effectuer cette évaluation, il est nécessaire de tenir compte de l'écart entre l'année d'émission et l'année horizon puisque le coefficient d'équivalence (le PRG) varie rapidement en fonction de la période de temps choisie pour évaluer les effets respectifs sur le réchauffement climatique des émissions de CO_2 et de CH_4.

Prenons un exemple : en 2005, la France a émis 2,65 Mtonnes de CH_4 et 341 Mtonnes de CO_2 (en tenant compte des puits de carbone). Les émissions de CH_4 sont actuellement comptées pour 56 Mtonnes de CO_2 (et donc pour 16 % de celles de CO_2). C'est parfaitement juste en ce qui concerne les effets intégrés jusqu'en 2105. Mais si l'on se place à l'horizon 2055, l'émission ponctuelle de méthane de 2005 prend une importance beaucoup plus grande en termes d'effet intégré sur le climat : le PRG à l'horizon de 50 ans est de 42[35], la valeur « équivalente » en émission de CO_2 est donc de 111 Mtonnes et 33 % des émissions de CO_2. D'autre part, il est essentiel de garder à l'esprit le fait que la notion de PRG s'applique aux conséquences sur le climat d'une émission ponctuelle à un instant donné. L'appliquer sans précaution à des mesures qui se perpétuent dans le temps pour en apprécier les conséquences à un horizon donné peut donc conduire à de graves erreurs d'évaluation.

4. Le calcul du Potentiel de réchauffement global

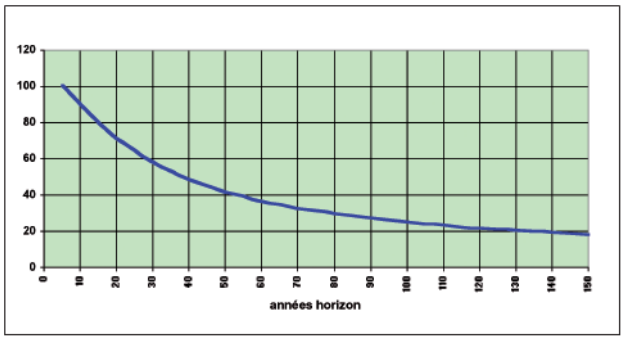
Le calcul du PRG aux différents horizons a été fait sur la base des dernières indications du GIEC[36]&[37] en reconstituant les courbes de décroissance du CO_2 et du CH_4 sur la période 0–500 ans et, à partir de là, en calculant les « PRG absolus » du CO_2 et du CH_4 à partir des valeurs des efficacités radiatives de ces deux gaz fournies par le GIEC[38]. Les valeurs du PRG ainsi obtenues[39] sont égales aux valeurs fournies par le GIEC pour 20, 100 et 500 ans (respectivement 72, 25 et 7,6)[40]. Elles figurent dans le tableau 14 et le graphique 20.

Graphique 19. Décroissance du CO_2 et du CH_4 dans l'atmosphère



Source : Calculs des auteurs, GIEC 2007.

Graphique 20. PRG du CH_4



Source : Calculs des auteurs.

33. Cela signifie que la courbe de décroissance du CH_4 dans l'atmosphère est l'exponentielle e-t/12 (et non que la moitié du CH_4 émis a disparu au bout de 12 ans).
34. La courbe de décroissance de la présence du CO_2 émis dans l'atmosphère est la somme d'une constante et de trois exponentielles, dont l'une correspond à une décroissance très rapide (temps de vie inférieur à 2 ans).
35. Voir tableau 14.
36. Référence : "Climate Change 2007: Working Group I: The scientific Basis" 2007 Cambridge University Press.
37. ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf
38. Pour une même unité de masse présente dans l'atmosphère, l'efficacité radiative du CH_4 est égale à 73 fois celle du CO_2.
39. Le calcul du PRG du CH_4 sur la base du rapport du GIEC de 2007 prend en compte les effets induits de la décroissance de ce gaz dans l'atmosphère.
40. La même vérification a été faite pour le N_2O.

Tableau 14. Valeur du PRG du CH_4 en fonction de l'année horizon (année d'émission : 0)

Année	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
PRG	101	90	80	72	64	58	53	49	45	42
Année	**55**	**60**	**65**	**70**	**75**	**80**	**85**	**90**	**95**	**100**
PRG	39	37	35	33	31	30	28	27	26	25
Année	**105**	**110**	**115**	**120**	**125**	**130**	**135**	**140**	**145**	**150**
PRG	24	23	23	22	21	21	20	19	19	18

Source : Calculs des auteurs.

5. Comparaison de deux actions de réduction des émissions de CH_4 et de CO_2

L'exemple ci-après permet de mettre en évidence l'ordre de grandeur des erreurs d'appréciation qu'on risque de commettre en utilisant « l'équivalence à 100 ans ».

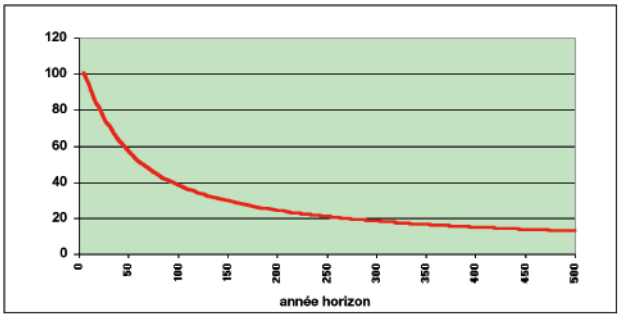
Nous considérons deux actions de réduction des émissions de CH_4 et de CO_2 :

a) d'une part, l'année 0, la suppression définitive de la source (pérenne sans cette action) d'une émission annuelle de 1 kg de CH_4 (soit 21 kgeq CO_2 dans la comptabilité actuelle) que nous appelons « action CH_4 » : à partir de l'année 1, l'émission évitée de CH_4 est donc de 1 kg chaque année.

b) d'autre part, la même année 0, la suppression définitive de la source (pérenne sans cette action) d'une émission annuelle de CO_2 de 1 kg, que nous appelons « action CO_2 » : à partir de l'année 1, l'émission évitée de CO_2 est donc de 1 kg chaque année.

Nous calculons les effets comparés sur le réchauffement climatique de chaque action aux divers horizons à partir de l'année horizon 1. Le cumul des effets respectifs de chaque émission évitée tout le long de la période entre l'année de l'action et l'année horizon est obtenu en faisant la somme des PRG « absolus » du CH_4 et du CO_2. Le rapport des effets cumulés permet de comparer entre elles une action de réduction pérenne des émissions de CH_4 et une action de réduction pérenne des émissions de CO_2. Le graphique 21 montre les résultats obtenus pour chaque année horizon entre 0 et 500 ans, par périodes de 5 ans, d'une suppression définitive de 1 kg de CH_4 (21 kg eq CO_2 avec la règle actuelle) réalisée l'année 0.

Graphique 21. Action CO_2 de même effet que l'action CH_4 de 1 kg



Source : Calculs des auteurs.

Le tableau 15 indique, pour des années horizons significatives, les valeurs en kg de CO_2 de l'émission évitée de CO_2 de façon pérenne à l'année 0 qui a le même effet sur le réchauffement climatique sur la période horizon que la suppression définitive d'une émission de 1 kg de CH_4 l'année 0.

Aux horizons de 20 et de 50 ans, la sous-estimation des effets, engendrée par l'utilisation du PRG de 21, est donc très élevée (respectivement d'un facteur 3,9 et 2,7) ; elle reste encore d'un facteur 1,9 à l'horizon de 100 ans et n'atteint la valeur 1 qu'au bout de 250 ans.

Tableau 15. Valeur de l'action CO_2 de même effet que l'action CH_4 aux différents horizons

Année horizon	20	50	100	250	500
kg CO_2	81	57	39	21	13

Source : Calculs des auteurs.

6. Comparaison de politiques de réduction des émissions

Le même calcul peut être effectué pour différentes années de l'action de suppression d'une émission de CH_4 et de CO_2, ces années pouvant être différentes pour chacun des gaz et s'étaler sur des périodes différentes. On peut également étudier des suppressions d'émissions pérennes ou bien limitées dans le temps. La comparaison des effets se traduit, pour chaque année ou période de réalisation de l'action CH_4 et pour chaque année horizon, par une quantité de kg de CO_2 dont l'émission supprimée de façon pérenne la même année ou durant la même période de réalisation de l'action (action CO_2) donnerait le même effet sur le réchauffement climatique à la même année horizon que l'action CH_4 de réduction pérenne d'émission de 1 kg de CH_4 pour cette période de réalisation de l'action. Cette méthode permet par conséquent de comparer entre elles des politiques de réduction des émissions de CH_4 et des politiques de réduction des émissions de CO_2, pour des réductions d'émissions pérennes ou limitées dans le temps (voir annexe 2).

7. Que conclure de cette démonstration ?

D'abord qu'il faut prendre pleinement conscience que l'utilisation du « Pouvoir de réchauffement global à 100 ans », pour comptabiliser les émissions des gaz à effet de serre autres que le CO_2, n'est pas bien adaptée au cas de mesures pérennes ou à de longues durées de vie dont on veut envisager l'efficacité à un horizon déterminé, et qu'elle contribue dans ce cadre à minorer fortement l'importance d'une diminution des émissions de gaz à durée de vie courte. Ainsi, par exemple, le méthane que l'on continue à ne pas émettre sur la période 2020-2100, parce que l'on a supprimé une décharge en 2020, aura un effet (par rapport au maintien de cette décharge) d'autant plus fort que l'on s'approche de 2100, par rapport à une source de CO_2 que l'on a aussi supprimée de manière pérenne et dont on évalue l'effet de manière équivalente.

L'utilisation des PRG n'est pertinente qu'appliquée, année après année, aux horizons considérés comme préoccupants ou décisifs par les études climatiques et donc en particulier 2050, 2100 et 2150. C'est d'autant plus important que les préoccupations actuelles des climatologues les conduisent à préconiser non seulement de stabiliser à long terme des concentrations de GES, mais aussi d'éviter au maximum les dépassements intermédiaires de cette concentration au cours du siècle qui vient. Enfin, on constate que des politiques d'évitement du CH_4 engagées à court terme peuvent garder une influence à long terme plus importante que ne le laisserait supposer la simple prise en compte du PRG actuel. Négliger plus ou moins fortement l'effet du méthane pour des raisons comptables inadaptées affecte le caractère plus ou moins exclusif du lien qui peut exister entre le problème des gaz à effet de serre et celui de l'énergie. Par ailleurs, si l'augmentation de la concentration du méthane dans l'atmosphère, très rapide après le début de l'ère industrielle, s'est ralentie depuis quelques années pour des raisons encore débattues, un retour à un accroissement rapide, en cas de dégel des régions arctiques par exemple, reste tout-à-fait possible.

Il est donc important, au moment où le dernier rapport du GIEC met en évidence les conséquences d'une dérive climatique à moyen terme, que des politiques de réduction

des émissions de gaz à effet de serre soient définies pour chacun des principaux gaz, CH_4 mais aussi N_2O, sur la base de leurs émissions réelles, en accord avec les scénarios élaborés par les experts qui étudient les changements climatiques et en fonction des objectifs de concentration qu'ils recommandent d'atteindre à des horizons donnés. Il ne faudrait pas, en effet, que des considérations purement économiques et financières liées aux marchés des permis d'émission, viennent masquer l'importance de politiques vigoureuses vis-à-vis des autres gaz que le CO_2. En particulier, en plus de l'indispensable effort de réduction des émissions de CO_2, une plus grande attention doit être donnée à la réduction à court terme des émissions de méthane, dont les effets sont élevés à l'horizon de quelques décennies. La période de deux ans de négociation sur l'après 2012, décidée à la récente Conférence de Bali, devrait donc être mise à profit pour engager une nouvelle réflexion sur ce sujet.

Annexe 2. Comparaison de deux programmes de réduction des émissions de CH_4 et CO_2

Benjamin Dessus, Bernard Laponche (mars 2008)

Comparaison des forçages radiatifs cumulés évités à différents horizons de deux programmes de réduction pérenne des émissions de CO_2 et de CH_4 sur la période 2010-2050

1. Deux programmes de réduction des émissions de CH_4 et de CO_2

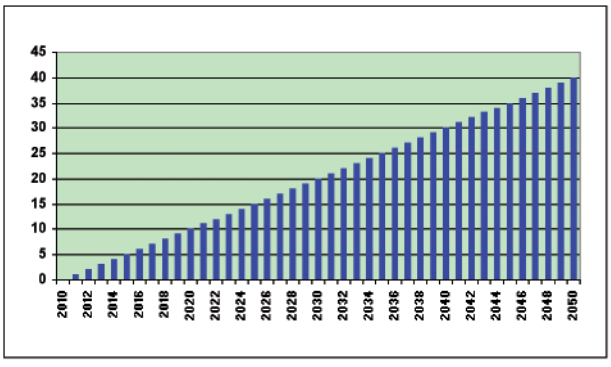
Nous comparons deux programmes de réduction pérenne des émissions de CH_4 et de CO_2 sur la période 2010-2050 :

- *Programme CH_4* : chaque année, à partir de 2010 et jusqu'en 2050, on effectue une action qui entraîne la suppression pérenne (au moins jusqu'en 2050 dans le cas étudié) d'une émission de 1 tonne de CH_4.

- *Programme CO_2* : chaque année, à partir de 2010 et jusqu'en 2050, on effectue une action qui entraîne la suppression pérenne (au moins jusqu'en 2050 dans le cas étudié) d'une émission de 21 tonnes de CO_2.

Les émissions évitées dans chacun des deux programmes sont indiquées dans le graphique 22.

Graphique 22. Emission évitée chaque année dans chacun des deux programmes



Source : Calculs des auteurs.

***Commentaire** :*

Par exemple, en 2020, l'émission évitée est de 10 t de CH_4 dans le programme CH_4 (ou de 210 tonnes de CO_2 dans le programme CO_2), du fait du cumul des émissions évitées grâce aux actions de réduction des émissions réalisées chaque année entre 2010 et 2020.

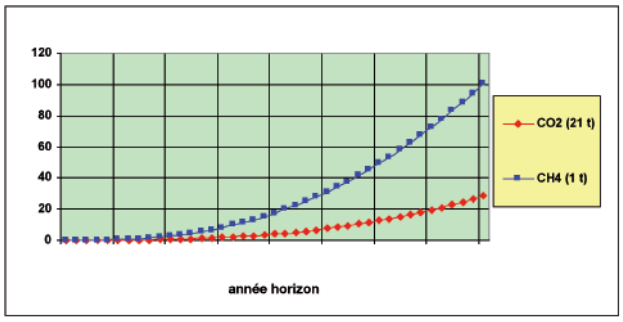
Avec la comptabilité actuelle des émissions de gaz à effet de serre, ces deux programmes sont considérés comme équivalents en termes d'effets sur le réchauffement climatique puisque chacun représente la suppression pérenne d'une émission de 21 tonnes d'équivalent CO_2 (teq CO_2) effectuée chaque année sur la période considérée.

2. Les forçages radiatifs évités intégrés et cumulés

Pour chacun des programmes, nous calculons[41] le forçage radiatif intégré[42] et cumulé[43] évité du fait de chaque programme à l'horizon de chaque année entre 2010 et 2050.

Le graphique 23 montre les valeurs respectives de ces deux forçages radiatifs.

Graphique 23. Forçage radiatif intégré et cumulé évité



Source : Calculs des auteurs.

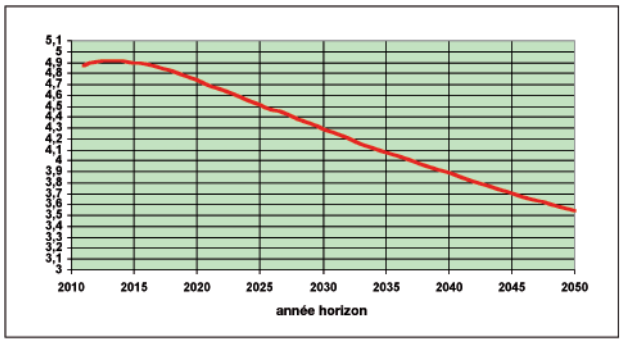
***Commentaire** :*

Par exemple, le forçage radiatif cumulé évité en 2030 du fait de chacun des programmes appliqué entre 2010 et 2030 est respectivement de 4,1x10^{-8} Watt.an/m^2 pour le programme CO_2 et de 17,4x10^{-8} Watt.an/m^2 pour le programme CH_4. De même, le forçage radiatif cumulé évité en 2050 du fait de chacun des programmes appliqué entre 2010 et 2050 est respectivement de 28,4x10^{-8} Watt.an/m^2 pour le programme CO_2 et de 100,5x10^{-8} Watt.an/m^2 pour le programme CH_4.

3. Rapport des forçages radiatifs intégrés et cumulés évités de chacun des programmes aux différents horizons

Le rapport des forçages radiatifs de chaque programme, intégrés et cumulés pour chaque année horizon, est présenté dans le graphique 24.

Graphique 24. Rapport de forçages radiatifs intégrés et cumulés évités



Source : Calculs des auteurs.

Commentaire :

Si les deux programmes sont réalisés sur la période 2010-2020, le rapport en 2020 est de 4,7 ; il est de 4,3 en 2030, 3,9 en 2040 et 3,5 en 2050.

Si l'on pense que la période horizon entre 2030 et 2050 est cruciale du point de vue du changement climatique, on doit considérer que l'importance d'une émission évitée pérenne supplémentaire chaque année de 1 tonne de CH_4 n'est pas équivalente à celle d'une émission évitée pérenne supplémentaire chaque année de 21 tonnes de CO_2 mais d'une émission évitée pérenne supplémentaire chaque année de l'ordre de 80 t de CO_2, sur la même période.

41. Voir Annexe 1.
42. « Forçage radiatif évité intégré » : forçage radiatif évité intégré entre l'année de l'action et l'année horizon.
43. « Forçage radiatif évité cumulé » : forçage radiatif évité intégré pour chaque année d'action cumulé pour toutes les années d'action entre 2010 et l'année horizon.

Glossaire

• **Convention cadre des Nations unies sur le changement climatique** (CCNUCC), en anglais *United Nations Framework Convention on Climate Change (**UNFCCC** ou FCCC)*, a été adoptée à Rio de Janeiro en 1992 par 154 États, plus la Communauté européenne. Elle est entrée en vigueur le 21 mars 1994. En 2004, elle était ratifiée par 189 pays. Cette convention est la première tentative, dans le cadre de l'ONU, pour tenter de mieux cerner ce qu'est le changement climatique et comment y remédier.

Elle reconnaît trois grands principes :

- le principe de précaution ;
- le principe des responsabilités communes mais différenciées ;
- le principe du droit au développement.

La Convention reprend tous les principes contenus dans la Déclaration finale de Rio de Janeiro et dans l'Agenda 21, ainsi que les principes du droit international, au sein duquel elle n'est qu'un aspect.
Cette convention ne contient aucun objectif juridiquement contraignant.
Cette convention est fréquemment dénommée « **Convention Climat** ».

• **Climat**

Le climat désigne généralement le « temps moyen » ; il s'agit plus précisément d'une description statistique du temps en termes de moyennes et de variabilité de grandeurs pertinentes sur des périodes de plusieurs décennies (trois décennies en principe, d'après la définition de l'Organisation météorologique mondiale, OMM). Ce sont le plus souvent des variables de surface – température, précipitations et vent, par exemple – mais au sens large le « climat » est la description de l'état du système climatique.

• **Changements climatiques (en anglais, *Climate Change*)**

Changements climatiques (selon la CCNUCC)
Changements de climat qui sont attribués directement ou indirectement à une activité humaine altérant la composition de l'atmosphère mondiale et qui viennent s'ajouter à la variabilité naturelle du climat observée au cours de périodes comparables.

Changements climatiques (selon le GIEC)
Les changements climatiques signalés dans les relevés climatologiques sont attribuables aux variations internes du système climatique ou des interactions entre ses composantes, ou aux modifications du forçage externe d'origine naturelle ou anthropique. Il n'est généralement pas possible d'établir clairement les causes. Dans les projections qu'il établit sur l'évolution du climat, le GIEC ne tient généralement compte que de l'influence sur le climat de l'augmentation des gaz à effet de serre imputable aux activités humaines et d'autres facteurs liés à l'homme.

• **Cycle du carbone**

Expression employée pour désigner l'échange de carbone (sous diverses formes, par exemple sous forme de dioxyde de carbone) entre l'atmosphère, les océans, la biosphère terrestre et les dépôts géologiques.

• **Durée de vie**

En général, ce terme désigne le temps qu'un atome ou une molécule passe en moyenne dans un milieu donné – l'atmosphère ou les océans, par exemple. A ne pas confondre avec le temps de réponse dans le cas d'une perturbation de la concentration. Le CO_2 n'a pas une durée de vie unique.

• **Efficacité radiative**

L'efficacité radiative d'un gaz à effet de serre, (en anglais, *Radiative Efficiency*), exprimée en $W/m^2/ppm$, mesure la perturbation climatique engendrée par l'introduction dans l'atmosphère d'une partie par million de masse supplémentaire de la concentration de ce gaz dans l'atmosphère.

• **Equivalent CO_2**

- Pour les concentrations de GES :

Concentration de CO_2 qui entraînerait un forçage radiatif de même importance que le mélange considéré de CO_2 et d'autres gaz à effet de serre. L'unité utilisée est la tonne équivalent CO_2 (teq CO_2) ou le ppmv (voire ppm) eq CO_2.

- Pour les émissions de GES :

Une émission d'une tonne d'un gaz à effet de serre autre que le CO_2 est exprimée par convention en « tonne équivalent CO_2 » (teq CO_2) en utilisant le « Potentiel de réchauffement climatique » sur une période de 100 ans. Les valeurs conventionnelles utilisées pour les PRG « à 100 ans » ont été fixées sur la base des travaux du GIEC en 1997 (Protocole de Kyoto).

La teq CO_2 pour les concentrations et la teq CO_2 pour les émissions correspondent à deux concepts différents.

• **Forçage radiatif (en anglais, *Radiative Forcing*)**

Mesure simple de l'importance d'un mécanisme pouvant conduire à un changement climatique. Le forçage radiatif est la perturbation du bilan énergétique du système Terre - atmosphère (en W/m^2) à la suite, par exemple, d'une modification de la concentration de dioxyde de carbone ou d'une variation du rayonnement solaire. Le système climatique réagit au forçage radiatif de façon à rétablir l'équilibre énergétique. Un forçage radiatif positif a tendance à réchauffer la surface du globe tandis qu'un forçage radiatif négatif a tendance à la refroidir. Le forçage radiatif est généralement exprimé à l'aide d'une valeur annuelle moyennée à l'échelle du globe. Dans les rapports du GIEC, le forçage radiatif est défini de façon plus précise : il s'agit de la perturbation subie par le bilan énergétique du système surface - troposphère une fois que la stratosphère a retrouvé un état d'équilibre radiatif moyen mondial (voir le chapitre 4 de GIEC (1994)). On parle parfois de « forçage climatique ».

• **Gaz à effet de serre (GES) (en anglais, *Greenhouse Gas*)**

Gaz qui, pour certaines longueurs d'onde données du spectre énergétique, absorbe le rayonnement (rayonnement infrarouge) émis par la surface de la Terre et par les nuages. Le gaz considéré émet à son tour un rayonnement infrarouge à un niveau où la température est plus faible que la température de surface. L'effet net est la rétention locale d'une partie de l'énergie absorbée et une tendance au réchauffement de la surface de la Terre. La vapeur d'eau (H_2O), le dioxyde de carbone ou gaz carbonique (CO_2), l'hémioxyde d'azote ou protoxyde d'azote (N_2O), le méthane (CH_4) et l'ozone (O_3) sont les principaux gaz à effet de serre que l'on trouve dans l'atmosphère terrestre.

• **Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat** (**GIEC)** :

Le GIEC, en anglais *Intergovernmental Panel on Climate Change* (*IPCC*) a pour mission d'évaluer, sans parti pris et de façon méthodique, claire et objective, les informations d'ordre scientifique, technique et socio-économique qui nous sont nécessaires pour mieux comprendre les fondements scientifiques des risques liés au changement climatique d'origine humaine, cerner plus précisément les conséquences possibles de ce changement et envisager d'éventuelles stratégies d'adaptation et d'atténuation. Il n'a pas pour mandat d'entreprendre des travaux de recherche ni de suivre l'évolution des variables climatologiques ou d'autres paramètres pertinents. Ses évaluations sont principalement fondées sur les publications scientifiques et techniques dont la valeur scientifique est largement reconnue. Le GIEC a été créé en 1988, à la demande du G7 (aujourd'hui G8), par deux organismes de l'ONU : l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et le Programme des Nations unies pour l'environnement (PNUE).

Le GIEC est organisé en trois groupes de travail :

Groupe I : il étudie les principes physiques et écologiques du changement climatique
Groupe II : il étudie les impacts, la vulnérabilité et l'adaptation au changement climatique
Groupe III : il étudie les moyens d'atténuer (mitigation) le changement climatique.

S'y ajoute une équipe spéciale pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, qui a produit des guides méthodologiques pour ces inventaires.

Chaque groupe de travail (et l'équipe spéciale) a deux co-présidents, l'un représentant les pays développés, l'autre les pays en développement.

• **Pays figurant à l'annexe 1**

A l'annexe I de la Convention cadre sur les changements climatiques figurent les pays qui étaient membres de l'OCDE en 1992, onze pays qui ont entrepris un processus de transition vers une économie de marché et la Communauté économique européenne. Les parties à la Convention cadre citées à l'annexe 1 sont convenus, au plan national, d'adopter des politiques et de prendre des mesures visant à atténuer le changement climatique.

• **Permis d'émission**

Autorisation non transférable ou négociable d'émettre une quantité déterminée de substance accordée par un gouvernement à une entreprise.

- **Potentiel de réchauffement global (PRG)**

Le PRG est un indice de comparaison associé à un gaz à effet de serre (GES) qui quantifie sa contribution marginale au réchauffement global comparativement à celle du dioxyde de carbone (CO_2), ceci sur une certaine période choisie. En d'autres termes, le PRG d'un gaz est le rapport entre les effets causés par la libération en début de période d'une masse donnée de ce gaz et ceux causés par la même masse de dioxyde de carbone (CO_2). Par définition, le PRG du CO_2 est toujours identique à 1. Les effets respectifs sont volontairement calculés sur une période choisie au-delà de laquelle les effets résiduels sont ignorés. Cette période (ou au minimum sa durée) doit être mentionnée lorsque le PRG est cité, faute de quoi sa valeur est dépourvue de sens.

Le PRG du gaz GES à l'horizon TH et pour des émissions de l'année 0 est le rapport de l'intégrale de 0 à TH de la fonction de décroissance dans le temps du gaz GES, multipliée par l'efficacité radiative de ce gaz, à l'intégrale de 0 à TH de la fonction de décroissance du CO_2 sur la même période, multipliée par l'efficacité radiative du CO_2. Le numérateur de ce rapport est le « PRG absolu du CH_4 » et le dénominateur le « PRG absolu » du CO_2.

L'acronyme anglais *GWP* (*Global Warming Potential*) est fréquemment utilisé.

- **ppm et ppmv** : partie par million et partie par million en volume.

- **Rayonnement infrarouge terrestre**

Rayonnement de grande longueur d'onde (autour de 10 µm) émis par la surface de la Terre, l'atmosphère et les nuages. Ce rayonnement infrarouge, déterminé par la température du système Terre - atmosphère a un spectre (gamme de longueurs d'onde) distinct, de celui du rayonnement solaire (voir ce terme), en raison de la différence de température existant entre le Soleil et le système Terre - atmosphère.

- **Rayonnement solaire**

Rayonnement de courtes longueurs d'onde (0,4 à 0,8 µm) émis par le Soleil. Il est distinct de celui du rayonnement infrarouge [voir ce terme] terrestre, en raison de la différence de température existant entre le Soleil et le système Terre - atmosphère.

- **Réchauffement climatique**

Le **réchauffement climatique**, également appelé *réchauffement planétaire* ou *réchauffement global*, (en anglais G*lobal Warming*) est un phénomène d'augmentation de la température moyenne des océans et de l'atmosphère, à l'échelle mondiale et sur plusieurs années. Dans son acception commune, ce terme est appliqué au changement climatique (voir définition des changements climatiques).

- **Réponse climatique transitoire**

Réponse échelonnée dans le temps du système climatique (ou d'un modèle climatique) à une évolution du forçage radiatif.

- **Scénario**

Description vraisemblable de ce que nous réserve l'avenir, fondée sur un ensemble cohérent et intrinsèquement homogène d'hypothèses concernant les principales relations et forces motrices en jeu (rythme des progrès techniques, pris, etc.). Remarque : des scénarios ne sont ni des prédictions, ni des prévisions.

- **Sensibilité du climat**

Dans les rapports du GIEC, cette expression désigne habituellement les variations à long terme (à l'équilibre) de la température moyenne mondiale en surface à la suite d'un doublement de la concentration de CO_2 (ou d'équivalent CO_2) dans l'atmosphère. De façon plus générale, elle désigne les variations à l'équilibre de la température de l'air en surface à la suite de la variation d'une unité de forçage radiatif (°C/W/m^2).

- **Stratosphère**

Région stable et très stratifiée de l'atmosphère, située au-dessus de la troposphère [voir ce terme] et s'étendant environ de 10 à 50 km d'altitude.

- **Troposphère**

Partie inférieure de l'atmosphère, s'étendant de la surface de la Terre à 10 km d'altitude environ dans les latitudes moyennes (altitude variant en moyenne de 9 km aux latitudes élevées à 16 km aux latitudes tropicales), où l'on rencontre les nuages et où se produisent les phénomènes « météorologiques ». La troposphère se définit comme étant la zone où la température décroît généralement avec l'altitude.

Bibliographie

Deneux, M. (2002), *Rapport OPECST n° 224*, 2001-2002, Sénat français, Paris.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2007*a*), "Climate Change 2007", IPCC Fourth Assessment Report (AR4), Working Group I Report: "The Physical Basis", Cambridge University Press.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2007*b*), "Climate Change 2007", IPCC Fourth Assessment Report (AR4), Working Group III Report: "Summary for Policy Makers", Cambridge University Press.

Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (2001), "S*pecial Report on Emissions Scenarios, Climate Change 200,1 Working group I: the scientific basis*".

Dessus, B., B. Laponche et H. Le Treut (2008), « Réchauffement climatique : importance du méthane », La recherche, mars, Paris.

Meinhausen, M. (2006), "What does a 2°C Target Mean for Greenhouse Gas Concentrations? A Brief Analysis Based on Multi-gas Emission Pathways and Several Climate Sensitivity Uncertainty Estimates"*, Avoiding Dangerous Climate Change, Chapter 28,* Cambridge University Press.

Roger, P. et J. Le Mer (1999), « Réduire l'émission de méthane par les rizières », Fiches scientifiques de l'IRD, mai, Paris.

Shi Su, Beath, A., Hua Guo et C. Mallett (2005), "An assessment of mine methane mitigation and utilisation technologies", *Progress in Energy and Combustion Science 31,* 123–170, Elsevier.

Skovgaard, M., N. Hedal et A.Villanueva (2008) *European Topic Centre on Resource and Waste Management et* Møller Andersen, F. et Larsen, H. *Risoe National Laboratory, Technical University of Denmark*, "Municipal waste management and greenhouse gases", *DTU ETC/RWM working paper 2008/1.*

Tuddenham, M. (2007), « Chine : Energie et émissions de gaz à effet de serre », Citepa, juillet.

US EPA (2003), Coalbed Methane Extra, *A publication of the Coalbed Methane Outreach Program (CMOP). EPA-430-N00-04.* Cating engines. Prepared for Environmental Protection Agency Climate Protection Partnership Division, July, Washington.

Sites internet

www.unfccc.int

www.ipcc.ch

www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf

www.elsevier.com/locate/pecs

www.epa.gov/climatechange/emissions/usinventoryreport.html

www.biogaz.atee.fr

www.global-chance.org