

# Forçage radiatif et PRG du méthane dans le rapport AR5 du GIEC

Benjamin Dessus, Bernard Laponche – 7 mai 2014

## RÉSUMÉ

Cet article a pour objet d'analyser l'importance du méthane ( $\text{CH}_4$ ) dans le changement climatique, à la lumière des apports des rapports du GIEC présentés en 2013 et 2014 (RE5).

Le « résumé à l'intention des décideurs » (RE5-RID) du Groupe de travail I du GIEC, sur les bases physiques du changement climatique, fait apparaître une différence importante sur la valeur du forçage radiatif du méthane par rapport au même document relatif à l'exercice précédent de 2007 (RE4-SID) :  $0,97 \text{ W.m}^{-2}$  contre  $0,48 \text{ W.m}^{-2}$ . Cette différence s'explique essentiellement par le fait que cette seconde valeur est relative au  $\text{CH}_4$  seul présent dans l'atmosphère alors que la première et plus récente attribuée, à juste titre, au méthane, les effets sur le réchauffement climatique, dus à la présence de ses « descendants », ozone troposphérique et vapeur d'eau stratosphérique. Cette méthode d'évaluation du forçage radiatif du  $\text{CH}_4$  avait déjà été présentée ainsi que les valeurs correspondantes dans le rapport RE4, mais ces résultats n'apparaissaient pas dans le résumé à l'intention des décideurs.

La nouvelle présentation faite par RE5-SID des résultats sur le forçage radiatif par « gaz responsable » permet de mettre en évidence de façon beaucoup plus claire que précédemment l'importance du méthane. Ce gaz est en effet responsable de 32 % du forçage radiatif de l'ensemble des GES en mélange homogène entre 1750 et 2011, derrière le  $\text{CO}_2$  (56 %) qui reste le premier responsable du forçage, mais très loin devant le  $\text{N}_2\text{O}$  (6 %) et les HFC et ozone non lié au  $\text{CH}_4$  (6 %).

À partir de la présentation faite dans le rapport AR4-RID de 2007, la plupart des décideurs considéraient en effet que la responsabilité du méthane dans le forçage radiatif constaté depuis 1750 était seulement de l'ordre de 16 %, très loin du  $\text{CO}_2$  (55 %) et même de l'ensemble HFC et ozone.

D'autre part, le Groupe de travail III du GIEC étudie les évolutions des émissions de GES et propose des politiques et mesures susceptibles de les réduire à des taux permettant de limiter les changements climatiques.

Pour faciliter les comparaisons entre les GES, les émissions de chacun des gaz autres que le  $\text{CO}_2$  sont comptées en « tonnes équivalent  $\text{CO}_2$  », calculées à l'aide du « Potentiel de réchauffement global », PRG. Mais la valeur du PRG varie avec l'année horizon choisie pour la comparaison des effets des différents gaz. Le PRG à cent ans (année horizon) a été choisi dans le cadre du protocole de Kyoto comme valeur de référence pour effectuer cette conversion. Évalué à 21 à cette époque, ce coefficient d'équivalence a augmenté à 25 dans RE4 et à 28 dans RE5, et même à 34 si l'on prend en compte les rétroactions climatiques, ce qui représente une augmentation d'un facteur 1,7.

Deux précautions supplémentaires doivent être prises dans l'utilisation de ces valeurs. La première concerne la variation du PRG avec l'année horizon : dans RE5, pour un horizon de 40 ans, soit 2050 pour une émission ponctuelle en 2010, le PRG vaut 57 et même 60 si on prend en compte les rétroactions

climatiques. La seconde tient au fait que le PRG est relatif à une émission (ou une émission évitée) ponctuelle, alors que, dans la réalité, on a affaire très généralement à des actions (une année donnée) qui entraînent des réductions d'émissions pérennes ou pseudo pérennes (plusieurs dizaines d'années). On utilise alors le « Potentiel de réchauffement global pour une émission pérenne, PRGP) dont la valeur est de 45 à 100 ans et 76 à 40 ans, sans tenir compte des rétroactions climatiques.

Le « Résumé à l'intention de décideurs » du Groupe III du GIEC dont les travaux ont porté sur les politiques et mesures de réduction des émissions de GES, présente l'évolution de ces émissions de 1970 à 2010. En 2010, les parts dans les émissions totales sont de 65 % pour le CO<sub>2</sub> et 16 % pour le CH<sub>4</sub>. Sur la base d'une telle différence dans les contributions relatives, il n'est pas étonnant que la presque totalité des politiques et mesures recommandées portent sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>. Mais les émissions annuelles sont exprimées en t CO<sub>2</sub>éq et le PRG du CH<sub>4</sub> utilisé pour cette « équivalence » est le PRG à 100 ans et sa valeur est 21 (celle du Protocole de Kyoto).

La vision de la réalité des phénomènes comme les propositions de mesures de réduction des émissions pourraient être plus diversifiées si l'on tenait compte des valeurs précédemment exposées : un PRG à 100 ans de 28, voire 34 ; un PRG à 40 ans de 57-60 ; un PRGP de 45 à 100 ans et de 76 à 40 ans, sans tenir compte des rétroactions climatiques.

## 1 - Le forçage radiatif<sup>1</sup> du méthane

Que nous apprend de nouveau le rapport d'évaluation RE5<sup>2</sup> (2013) du GIEC par rapport au rapport RE4 (2007) en ce qui concerne la responsabilité de chacun des gaz à effet de serre sur le forçage radiatif total entre 1750 et 2011 ?

### 1.1 - Que nous disent les « résumés à l'intention des décideurs » (RID<sup>3</sup>)

Examinons les résumés à l'intention des décideurs (RID) des rapports du Groupe de travail I du GIEC des deux derniers rapports, RE4 et RE5.

#### 1.1.1 RE4-RID (2007)

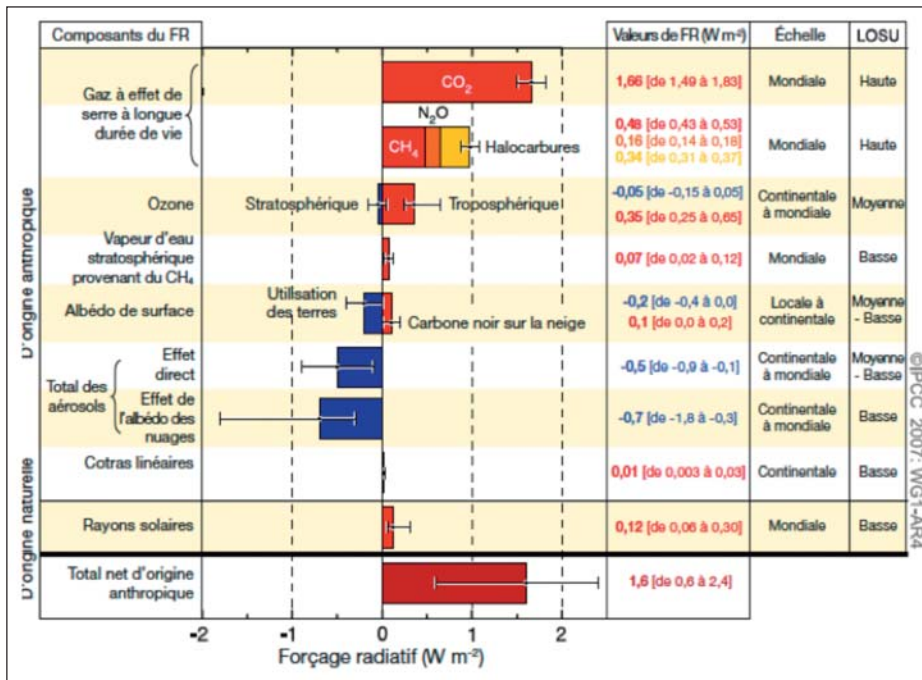


Tableau 1 : Forçage radiatif entre 1750 et 2005, dans RE4-SID (Figure RID.2, page 4)

1 - Le forçage radiatif (FR) est un changement de flux énergétique causé par un facteur ; il est calculé à la tropopause ou au-dessus de l'atmosphère. L'unité de mesure du forçage radiatif est le watt par mètre carré (W/m<sup>2</sup> ou W.m<sup>-2</sup>).

2 - RE : rapport d'évaluation. En anglais : AR (Assessment report).

3 - SPM en anglais : Summary for Policymakers.

- Le forçage radiatif total net d'origine anthropique est<sup>4</sup> de 1,6 W.m<sup>-2</sup>.
- Le forçage radiatif des « gaz à effet de serre au mélange homogène<sup>5</sup> » est de 3 W.m<sup>-2</sup>.
- Le forçage radiatif du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) est de 1,66 W.m<sup>-2</sup>.
- Le forçage radiatif du méthane (CH<sub>4</sub>) est de 0,48 W.m<sup>-2</sup>.

Si l'on s'intéresse aux gaz à effet de serre à longue durée de vie (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Halocarbures), leur forçage radiatif total est de 2,64 W.m<sup>-2</sup>, dont 63 % dus au CO<sub>2</sub> et 18 % au CH<sub>4</sub>.

Si l'on ajoute l'ozone (O<sub>3</sub>) et la vapeur d'eau stratosphérique provenant du CH<sub>4</sub> (H<sub>2</sub>O) aux gaz précédents, le forçage radiatif est de 3,01 W.m<sup>-2</sup> et les contributions du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> sont respectivement de 55 % et de 16 %, valeurs qui sont en général retenues pour qualifier les contributions de chacun de ces gaz. La contribution du CO<sub>2</sub> au forçage radiatif des gaz au mélange homogène apparaît donc, dans RE4-RID, comme 3,4 fois plus importante que celle du CH<sub>4</sub>.

### 1.1.2 RE5-RID (2013)

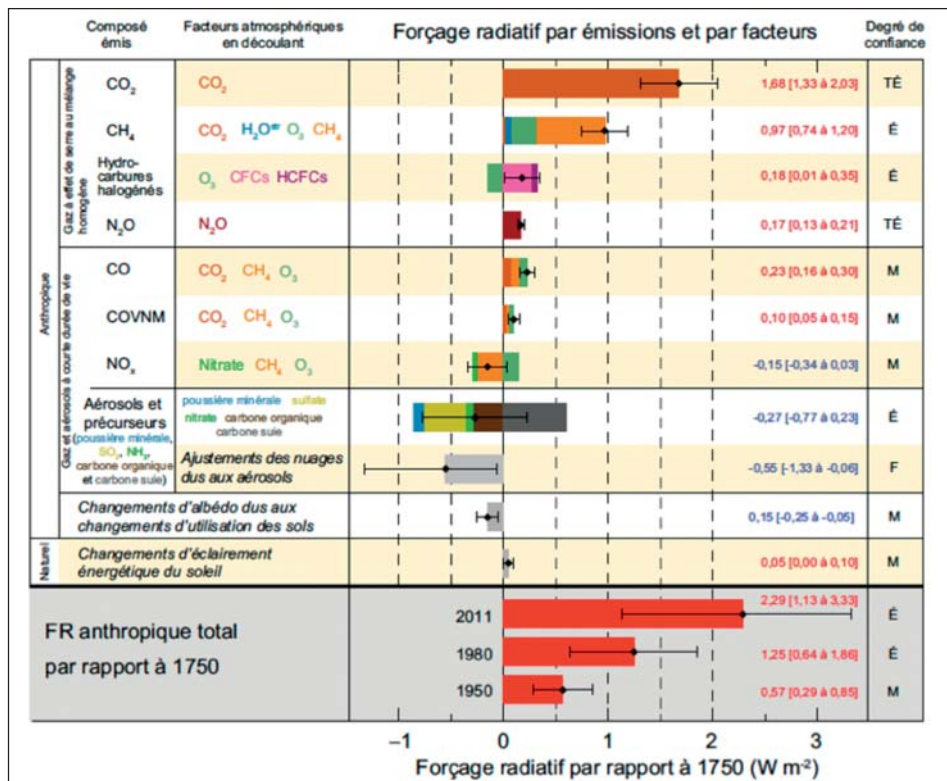


Tableau 2 : Forçage radiatif entre 1750 et 2011 dans RE5-SID (Figure RID.5, page 12) Note : Dans ce tableau, il faut lire pour les changements d'albédo dus aux changements d'utilisation des sols la valeur « -0,15 » et non « 0,15 » comme indiqué dans ce tableau.

On constate dans le tableau 2 les principaux enseignements suivants sur le forçage radiatif entre 1750 et 2011 :

- Le forçage radiatif total net d'origine anthropique de 2011 (année étudiée par RE5) par rapport à 1750, est de 2,29 W.m<sup>-2</sup>.
- Le forçage radiatif des « gaz à effet de serre au mélange homogène<sup>7</sup> » est de 3 W.m<sup>-2</sup>.
- Le forçage radiatif du CO<sub>2</sub> est de 1,68 W.m<sup>-2</sup>.
- Le forçage radiatif du CH<sub>4</sub> est de 0,97 W.m<sup>-2</sup>.

4 - Cette valeur de 1,6 W.m<sup>-2</sup> ne correspond pas exactement à la somme des valeurs des différents composants. La note en bas du tableau 2 explique en effet que « Ceci demande une addition asymétrique des incertitudes pour les différents composants, et ne peut être obtenu par une simple addition ».

5 - CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, Halocarbures, Ozone, Vapeur d'eau stratosphérique provenant du CH<sub>4</sub>.

6 - Notre calcul à partir des valeurs du tableau 2 donne 2,21 W.m<sup>-2</sup>, mais voir note de bas de page n° 4.

7 - CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, Hydrocarbures halogénés, N<sub>2</sub>O.

On voit que les valeurs des forçages radiatifs des évaluations RE4 et RE5 telles qu'elles sont rapportées dans les résumés pour les décideurs sont très nettement différentes pour ce qui concerne le forçage radiatif total d'origine anthropique (2,29 contre 1,6 W.m<sup>2</sup>) ainsi que pour le forçage radiatif du méthane (0,97 contre 0,48 W.m<sup>2</sup>).

Les contributions relatives du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub> au forçage radiatif des gaz au mélange homogène sont respectivement de 56 % pour le CO<sub>2</sub> et 32 % pour le CH<sub>4</sub>. La contribution du CO<sub>2</sub> au forçage radiatif apparaît donc comme 1,8 fois plus importante que celle du CH<sub>4</sub>.

Nous allons maintenant détailler l'explication de ces différences.

## 1.2. - Explication des différences entre RE4-RID et RE5-RID, sur la base des rapports RE4 et RE5

Afin d'expliquer les différences constatées précédemment, nous nous appuyons sur les textes des RID eux-mêmes ainsi que sur ceux des rapports RE4 (chapitre 2<sup>8</sup>) et RE5 (chapitre 8<sup>9</sup>) du Groupe de travail I du GIEC.

### 1.2.1 Les forçages radiatifs globaux

- Au total, le forçage radiatif anthropique total par rapport à 1750 est 40 % supérieur dans RE5-RID à celui affiché dans RE4-SID : 2,29 contre 1,6 W.m<sup>2</sup>.
- Le forçage radiatif total dû aux émissions des gaz à effet de serre en mélange homogène (au sens du tableau 2) reste à peu près constant : 3 W.m<sup>2</sup> dans RE5-RID contre 3,01 dans RE4-RID.
- Par contre, les forçages négatifs (NO<sub>x</sub>, aérosols et précurseurs, ajustements nuages dus aux aérosols, changement d'albédo) ont beaucoup évolué : -0,92 W.m<sup>2</sup> dans RE5-RID contre -1,4 W.m<sup>2</sup> dans RE4-RID.

#### Extraits de RE5-SID :

Le FR anthropique total en 2011 par rapport à 1750 est de 2,29 [1,13 à 3,33] W.m<sup>2</sup> et il a progressé plus rapidement depuis 1970 qu'au cours des décennies précédentes. L'estimation du FR anthropique total pour 2011 est supérieure de 43 %, comparativement à l'estimation indiquée dans le RE4 pour l'année 2005. Ce résultat s'explique à la fois par la croissance continue des concentrations de la plupart des gaz à effet de serre et par l'amélioration des estimations du FR des aérosols conduisant à une atténuation de leur effet net de refroidissement (FR négatif).

Cette nouvelle évaluation constitue de fait la principale différence entre les deux rapports RE4 et RE5.

### 1.2.2 Le forçage radiatif du méthane (CH<sub>4</sub>)

La différence sur le forçage radiatif du méthane (CH<sub>4</sub>) entre RE4-SID (0,48 W.m<sup>2</sup>) et RE5-SID (0,97 W.m<sup>2</sup>) s'explique par deux raisons essentielles :

- L'augmentation du forçage radiatif du CH<sub>4</sub> lui-même entre RE4 et RE5.
- L'attribution au CH<sub>4</sub> du forçage radiatif des gaz produits à partir du CH<sub>4</sub> du fait de sa propre décroissance (ses « descendants »).

#### Forçage radiatif du méthane seul

Dans RE5-RID, la composante « CH<sub>4</sub> seul » du forçage radiatif est de 0,64 W.m<sup>2</sup> pour le méthane alors que cette valeur est de 0,48 W.m<sup>2</sup> dans RE4-RID.

Cette différence, qui apparaissait déjà dans RE4 avec une valeur de 0,56 W.m<sup>2</sup> (même référence que note de bas de page n° 8), mais n'est pas mentionnée dans RE4-RID, provient notamment de l'allongement de la durée de vie du méthane dans l'atmosphère et de diverses autres interactions<sup>10</sup>.

Dans le rapport RE5, la valeur de ces effets a été réévaluée<sup>11</sup>.

8 - RE4, chapitre 2 : « Changes in atmospheric constituents and in radiative forcing ».

9 - RE5, chapitre 8 : « Anthropogenic and natural radiative forcing »

10 - Page 698 du rapport RE5, chapitre 8 et page 205 du rapport RE4, chapitre 2. Le rapport AR5 explique la différence de 0,48 à 0,64 W.m<sup>2</sup> de la valeur du forçage attribuée au seul CH<sub>4</sub> de la manière suivante (p. 698) : « en fait, les émissions de CH<sub>4</sub> conduiraient à un forçage radiatif plus élevé (0,64) que celui déduit de la concentration (0,48). Cela tient à ce que les autres composants influencent à la fois la durée de vie du CH<sub>4</sub> et réduit son abondance (en particulier les NO<sub>x</sub>) ».

11 - Page 717 : l'effet du CH<sub>4</sub> sur l'ozone est renforcé de 50 % et celui sur la vapeur d'eau de 15 % par rapport au rapport RE4. Et communication privée de J.S. Fuglestedt.

### Attribution du forçage radiatif de ses « descendants » au forçage radiatif du CH<sub>4</sub>

La contribution de chacun des gaz intervenant dans le forçage radiatif qui est présentée dans RE4-RID a été calculée en fonction des concentrations de chacun de ces gaz, sans recherche de leur origine. C'est ainsi que le forçage radiatif du CH<sub>4</sub> est uniquement lié à la différence de concentration du CH<sub>4</sub> dans l'atmosphère entre 1750 et 2005.

Par contre, dans RE5-RID, le forçage radiatif du CH<sub>4</sub> comprend une composante liée à la concentration de ce gaz (comme dans RE4-RID) mais en plus le forçage radiatif induit par la vapeur d'eau créée par réaction avec le méthane dans la stratosphère<sup>12</sup> et celui induit par l'ozone créé dans la troposphère par réaction avec le même méthane<sup>13</sup>.

Alors que le document AR4-RID ne présente que le forçage radiatif calculé par la méthode à partir des concentrations individuelles de chaque gaz, il est important de noter que la seconde méthode incluant les « descendants » du CH<sub>4</sub> était déjà présentée dans RE4, mais les résultats correspondants n'avaient pas été retenus dans le résumé pour les décideurs.

C'est ce qu'indique le paragraphe 2.9.3 : « *Global mean radiative forcing by emission precursor* » et la Figure 2.21, dans RE4, chapitre 2, page 205. Cette figure indique en effet un forçage radiatif de 0,83 W.m<sup>-2</sup> pour le méthane incluant ses « descendants ».

Dans le rapport RE5, la valeur de ces effets a été réévaluée<sup>14</sup>.

Ainsi, dans RE5-SID, le forçage radiatif de 0,97 W.m<sup>-2</sup> attribué au méthane est la somme de 0,64 W.m<sup>-2</sup> dû au méthane seul, plus 0,07 W.m<sup>-2</sup> dû à la vapeur d'eau d'origine méthane, plus 0,24 W.m<sup>-2</sup> dû à l'ozone d'origine méthane (voir notes de bas de page 12 et 13).

#### Remarques :

- a) La différence entre ces deux méthodes de calcul du forçage radiatif du méthane est bien mentionnée dans RE5-SID mais d'une façon très elliptique qui peut prêter à confusion :

*À elles seules, les émissions de CH<sub>4</sub> ont entraîné un FR de 0,97 [0,74 à 1,20] W.m<sup>-2</sup> (voir figure RID.5). Ce résultat est nettement plus important que l'estimation basée sur la concentration, soit 0,48 [0,38 à 0,58] W.m<sup>-2</sup> (inchangée par rapport au RE4). Cette différence dans les estimations s'explique par les changements de concentration d'ozone et de vapeur d'eau stratosphérique dus aux émissions de CH<sub>4</sub> ainsi qu'aux autres émissions influant indirectement sur le CH<sub>4</sub>.*

Dans tous les cas, les forçages radiatifs sont calculés à partir des concentrations (et de leur évolution dans le temps en fonction des émissions de GES et de leur durée de vie dans l'atmosphère). Mais la formulation de ce paragraphe a conduit certains commentateurs à attribuer la différence entre RE4-SID et RE5-SID au fait que, dans le premier cas, le forçage radiatif serait calculé « à partir des concentrations » alors que, dans le second cas, il serait calculé « à partir des émissions ». Il n'en est rien comme nous venons de le voir.

- b) Il faut noter que, dans RE4, le calcul du PRG du méthane (voir 2. Du présent article) a été effectué en attribuant au méthane les effets de ses descendants. Et cette valeur du PRG avait alors servi de base au calcul de la valeur en tonnes équivalent CO<sub>2</sub> des émissions de CH<sub>4</sub>.

### 1.2.3 Le forçage radiatif de l'ozone

Le forçage radiatif attribué à l'ozone (O<sub>3</sub>) induit par les émissions de HFC et à leur propre forçage radiatif est évalué à 0,18 W.m<sup>-2</sup><sup>15</sup>.

12 - Page 674 du rapport RE5 : « l'oxydation du CH<sub>4</sub> est responsable d'une augmentation de 25 % de la vapeur d'eau dans la stratosphère » et page 677 : « la quantité de vapeur ainsi produite est responsable d'un forçage de 0,07 W.m<sup>-2</sup> ».

13 - Page 680 du rapport RE5 : la moyenne des 7 études d'attribution de l'ozone aux différents gaz à effet de serre au forçage radiatif conduit à attribuer une valeur de 0,24 W.m<sup>-2</sup> à l'ozone d'origine CH<sub>4</sub>.

14 - Page 717 : l'effet du CH<sub>4</sub> sur l'ozone est renforcé de 50 % et celui sur la vapeur d'eau de 15 % par rapport au rapport RE4. Et communication privée de J.S. Fuglestedt.

15 - Page 11 de RE5-RID : Les émissions d'hydrocarbures halogénés qui contribuent à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique ont entraîné un FR net positif de 0,18 [0,01 à 0,35] W.m<sup>-2</sup>. Leur propre FR positif a dépassé le FR négatif dû à l'appauvrissement de la couche d'ozone stratosphérique qu'elles ont provoqué. Le FR de tous les hydrocarbures halogénés est semblable à la valeur donnée dans RE4, avec une réduction du FR des CFC, compensée par une augmentation due à plusieurs autres produits de substitution.

### 1.3 - Récapitulatif et enseignements

|  | RE5-SID (2013) - Année 2011 |             | RE4-SID (2007) - Année 2005 |            |
|--|-----------------------------|-------------|-----------------------------|------------|
|  | FR (W.m <sup>-2</sup> )     | %           | FR (W.m <sup>-2</sup> )     | %          |
| <b>ORIGINE ANTHROPIQUE</b>                                 |                             |             |                             |            |
| <b>GES mélange homogène</b>                                |                             |             |                             |            |
| CO <sub>2</sub>  | 1,68                        | 56          | 1,66                        | 55,1       |
| CH <sub>4</sub> (hors H <sub>2</sub> O et O <sub>3</sub> ) | 0,64                        | 21,3        | 0,48                        | 15,9       |
| H <sub>2</sub> O origine CH <sub>4</sub>                   | 0,07                        | 2,7         | 0,07                        |            |
| O <sub>3</sub> origine CH <sub>4</sub>                     | 0,25                        | 8,3         | Non renseigné*              |            |
| Autre O <sub>3</sub> ,<br>Hydrocarbures,<br>Halocarbures,  | 0,18                        | 6,0         | 0,64                        | 23,6       |
| N <sub>2</sub> O   | 0,17                        | 5,7         | 0,16                        | 5,3        |
| <b>Sous total mélange homogène</b>                         | <b>3,00</b>                 | <b>100</b>  | <b>3,01</b>                 | <b>100</b> |
| <i>Dont responsabilité totale du CH<sub>4</sub></i>        | <i>0,97</i>                 | <i>32,3</i> | Ne figure pas               |            |
|  |                             |             |                             |            |
| <b>Gaz et aérosols de faible durée</b>                     |                             |             |                             |            |
| CO   | 0,23                        |             |                             |            |
| CONVM  | 0,10                        |             |                             |            |
| NOX  | -0,15                       |             |                             |            |
| Aérosols et précurseurs                                    | -0,27                       |             | -0,5                        |            |
| Ajustements nuages dus aux aérosols                        | -0,55                       |             | -0,7                        |            |
| Changement albédo  | -0,15                       |             |                             |            |
| Trainées de condensations (cotras linéaires)               |                             |             | 0,01                        |            |
| <b>Sous total gaz et aérosols de faible durée</b>          | <b>- 0,79</b>               |             | <b>- 1,9</b>                |            |
|  |                             |             |                             |            |
| <b>FORÇAGE ANTHROPIQUE TOTAL</b>                           | <b>2,29</b>                 |             | <b>1,6</b>                  |            |
| <b>ORIGINE NATURELLE</b>                                   |                             |             |                             |            |
| Eclairement du soleil                                      | 0,05                        |             | 0,12                        |            |
| <b>FORÇAGE RADIATIF TOTAL</b>                              | <b>2,34</b>                 |             | <b>1,72</b>                 |            |

**Tableau 3 : Forçages radiatifs par rapport à 1750 dans les résumés pour les décideurs<sup>16</sup>**

\* Valeur non spécifiée mais incluse dans la ligne suivante (Autre O<sub>3</sub>...)

En résumé, si la synthèse pour les décideurs RE4-SID avait adopté la même présentation que celle de la synthèse RE5-SID, on aurait constaté que le forçage radiatif du méthane (incluant ses descendants) était passé de 0,86 W.m<sup>-2</sup> à 0,97 W.m<sup>-2</sup> et non de 0,48 W.m<sup>-2</sup> à 0,97 W.m<sup>-2</sup>. Cela représente tout de même une augmentation de 12,7 % qui se traduit par une augmentation des potentiels de réchauffement global comme nous le verrons dans le chapitre 2 de cet article.

*La nouvelle présentation faite par RE5-SID des résultats sur le forçage radiatif par « gaz responsable » permet de mettre en évidence de façon beaucoup plus claire que précédemment l'importance du méthane. Cette présentation figurait déjà dans le rapport RE4, mais n'avait pas été reprise dans la synthèse pour les décideurs RE4-SID.*

*Ce gaz est en effet responsable de 32,3 % du forçage radiatif de l'ensemble des GES au mélange homogène entre 1750 et 2011, derrière le CO<sub>2</sub> qui reste avec 56 % du total, le premier responsable du forçage, mais très loin devant le N<sub>2</sub>O (5,7 %) et les HFC et ozone non lié au CH<sub>4</sub> (6 %).*

*À partir de la présentation faite dans le rapport AR4-RID de 2007, la plupart des décideurs considéraient en effet que la responsabilité du méthane dans le forçage radiatif constaté depuis 1750 était seulement de l'ordre de 16 %, très loin du CO<sub>2</sub> (55 %) et même de l'ensemble HFC et ozone.*

<sup>16</sup> - La valeur du forçage d'un groupe de gaz ne correspond pas exactement à la somme des valeurs des différents composants. Ceci demande une addition asymétrique des incertitudes pour les différents composants, et ne peut être obtenu par une simple addition.

## 2 - Le potentiel de réchauffement global du méthane

### 2.1 - Le PRG

#### 2.1.1 Calcul du PRG

Comment déterminer les mesures les plus efficaces de réduction des émissions de gaz à effet de serre ? Les gaz concernés diffèrent non seulement par leur efficacité radiative<sup>17</sup> mais également par leur durée de résidence dans l'atmosphère (figure 1 pour le méthane CH<sub>4</sub> et le gaz carbonique CO<sub>2</sub>). C'est ainsi que l'efficacité radiative d'une tonne de CH<sub>4</sub> présente dans l'atmosphère est environ cent fois celle d'une tonne de CO<sub>2</sub>, mais le CH<sub>4</sub> disparaît plus rapidement de l'atmosphère.

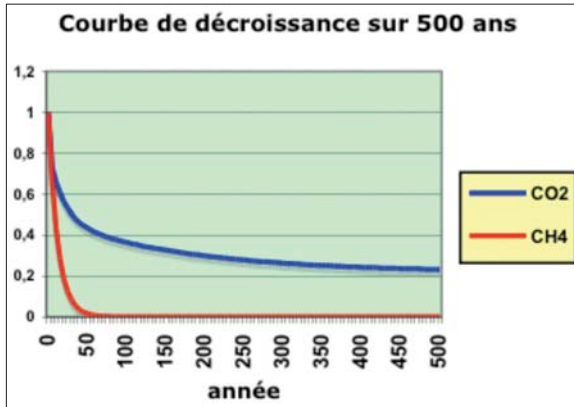


Figure 1 : Courbes de décroissance du CO<sub>2</sub> et du CH<sub>4</sub>

Pour faciliter les comparaisons entre les effets des différents GES, le GIEC a défini le « potentiel de réchauffement global », PRG. Le PRG est défini comme le rapport entre la perturbation du bilan radiatif de la Terre pendant une période déterminée qui suit l'émission ponctuelle d'un kilogramme d'un gaz (ici le CH<sub>4</sub>) et la perturbation sur la même période qui suit l'émission ponctuelle au même instant d'un kilogramme de CO<sub>2</sub>.

On calcule ainsi pour chaque gaz, ici CO<sub>2</sub> et CH<sub>4</sub>, le APRG, intégrale du produit de l'efficacité radiative par la quantité au cours du temps d'une unité de masse du gaz correspondant émise au temps 0.

Les valeurs des APRG sont fournies par le rapport du GIEC 2013<sup>18</sup>. Le PRG est ensuite calculé comme le rapport de APRG CH<sub>4</sub> sur APRG CO<sub>2</sub>.

Il est important de noter que le calcul du PRG dans RE4 prenait déjà en compte les descendants du CH<sub>4</sub> (ozone troposphérique et vapeur d'eau stratosphérique) dans l'évaluation des effets des émissions de CH<sub>4</sub> sur le réchauffement climatique, effets qui ont été explicités au chapitre 1 de cette note.

#### 2.1.2 - Évolution du PRG entre RE4 et RE5

Le tableau 4 indique les valeurs ainsi calculées pour RE5 et les compare à celles de RE4.

| Année horizon | 1    | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 40   | 50   | 100  |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| PRGRE-5       | 120  | 114  | 104  | 94   | 84   | 75   | 68   | 57   | 48   | 28   |
| PRG RE4       | 103  | 101  | 90   | 80   | 72   | 64   | 58   | 49   | 42   | 25   |
| RE5/RE4       | 1,17 | 1,13 | 1,16 | 1,18 | 1,17 | 1,17 | 1,17 | 1,16 | 1,14 | 1,12 |

Tableau 4 : PRG du CH<sub>4</sub>

Le PRG du CH<sub>4</sub> décroît fortement avec l'année horizon et sa valeur augmente, pour une année donnée, entre RE4 et RE5, de l'ordre de 15 %.

Dans le protocole de Kyoto, le choix a été fait, au niveau international, de présenter une comptabilité unique des émissions de gaz à effet de serre en exprimant les émissions de gaz à effet de serre en tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>éq), la conversion entre tonne émise réelle et tonne équivalent CO<sub>2</sub> utilisant la

17 - Efficacité radiative : variation du forçage radiatif par l'augmentation d'une unité de masse du gaz concerné dans l'atmosphère.

18 - Valeurs communiquées par O. Boucher.

valeur du PRG « à cent ans » comme coefficient de conversion. À l'époque du protocole, le PRG du CH<sub>4</sub> à 100 ans était estimé à 21 : 1 tonne de CH<sub>4</sub> émise était comptée 21 t CO<sub>2</sub>éq.

Si l'on conserve cette convention, on voit cependant que le PRG à 100 ans est passé à 25 dans RE4 et 28 dans RE5.

#### *Prise en compte des rétroactions climatiques*

D'autre part, dans le rapport RE5, les valeurs du PRG ci-dessus (tableau 4) ne prennent pas en compte les perturbations entraînées par les émissions de CH<sub>4</sub> sur le climat qui ont un impact sur la productivité de la photosynthèse et donc sur la capacité de fixation du CO<sub>2</sub> par les plantes.

Les rétroactions sur le climat sont importantes puisqu'elles conduisent à augmenter le PRG du méthane respectivement de 20 % à 100 ans (valeur 34 au lieu de 28) et 5 % à 20 ans (valeur 86 au lieu de 84).

En cumulant ces différents effets, on voit que le PRG à 100 ans passe de 25 dans RE4 à 34 dans RE5 avec rétroaction climatique et, à 20 ans, de 72 à 86.

En première approximation, on peut reconstituer par extrapolation linéaire les valeurs intermédiaires entre 1 et 100 ans, ce qu'indique le tableau 5.

| Année horizon   | 1    | 5    | 10   | 15  | 20   | 25   | 30   | 40   | 50   | 100  |
|-----------------|------|------|------|-----|------|------|------|------|------|------|
| PRG RE-5        | 120  | 114  | 104  | 94  | 84   | 75   | 68   | 57   | 48   | 28   |
| PRG rétro. RE-5 | 121  | 115  | 106  | 96  | 86   | 77   | 71   | 60   | 52   | 34   |
| PRG RE4         | 103  | 101  | 90   | 80  | 72   | 64   | 58   | 49   | 42   | 25   |
| RE5retro/RE4    | 1,18 | 1,14 | 1,17 | 1,2 | 1,19 | 1,21 | 1,22 | 1,22 | 1,23 | 1,36 |

**Tableau 5 : PRG du CH<sub>4</sub> avec rétroactions climatiques**

#### *Importance de l'année horizon*

On rappelle tout d'abord que la métrique utilisée dans le protocole de Kyoto pour normer l'ensemble des gaz à effet de serre en équivalent CO<sub>2</sub> est le PRG. Sur la base des connaissances de l'époque, c'est le PRG du méthane à 100 ans des différents gaz à effet de serre qui a été retenu. La valeur de PRG du méthane était de 21 (62 à 20 ans).

Dans le rapport RE4 de 2007 une première révision de cette valeur a été effectuée. De nouvelles valeurs ont été indiquées, 25 à 100 ans et 72 à 20 ans.

Dans le rapport RE5, la valeur du PRG sans rétroactions climatiques est de 28 et, avec rétroactions climatiques, de 34.

Mais, à des horizons plus proches qui peuvent être significatifs pour les changements climatique, avec le risque d'effets irréversibles, les augmentations du PRG restent notables par rapport à RE4 : 19 % à 20 ans (2030) et 22 % à 40 ans (2050), en tenant compte des rétroactions climatiques.

#### *Le cas du méthane fossile*

Le rapport RE5 fournit pour le PRG du méthane des valeurs plus élevées dans le cas du méthane fossile : 85 au lieu de 84 à 20 ans et 30 au lieu de 28 à 100 ans. Cette catégorie est concernée par les actions de réduction des émissions de méthane dans le secteur énergétique. Le PRG à 100 ans tenant compte des rétroactions climatiques serait alors de 36.

## **2.2 - PRGP et PRGPRO<sup>19</sup>**

Le PRG du CH<sub>4</sub> sert à comparer les effets aux différents horizons temporels sur le réchauffement global d'une émission d'une tonne de CH<sub>4</sub> et d'une tonne de CO<sub>2</sub> pendant l'année 0. Il mesure de la même façon les effets de la suppression de cette émission pendant l'année 0. Dans les deux cas, le PRG compare deux actions ponctuelles.

Dans la réalité des projets de réduction des émissions de gaz à effet de serre, la réduction des émissions peut être le plus souvent considérée comme pérenne : il s'agit en effet de supprimer de façon définitive une source d'émission (par exemple, une décharge d'ordure à l'air libre pour le méthane ou une réduction de la consommation de chauffage au fioul pour le CO<sub>2</sub>). Ou bien ces réductions sont obtenues par des projets dont la durée de vie est de plusieurs dizaines d'années et on peut raisonnablement supposer que les dispositifs mis en place seront remplacés à l'issue de leur durée de vie.

<sup>19</sup> - « Quelles émissions de gaz à effet de serre faut-il réduire ? », B. Dessus, B. Laponche, H. Le Treut. La Recherche, février 2013, n° 472.



### PRGP

Pour évaluer l'impact de cette pérennité des effets d'une action de réduction des émissions, on a défini le « Potentiel de réchauffement global d'émissions pérennes », PRGP.

PRGP est calculé comme le PRG, en considérant que, chaque année à partir de l'année initiale où se situe l'action de réduction, l'émission d'une tonne de gaz ( $\text{CH}_4$  et  $\text{CO}_2$ ) est supprimée de façon pérenne (jusqu'à l'année horizon).

### PRGPro

On peut de la même façon traduire le fait que les programmes de réduction des émissions de gaz à effet de serre consistent en la mise en œuvre d'actions progressives (à effet pérenne), engagées année après année (nouvelle réduction d'une tonne d'émission chaque année), pour obtenir à un horizon donné l'élimination permanente d'une part des émissions de l'année initiale. Le PRGPro (PRG Programme) compare à chaque année horizon les effets respectifs d'un programme de réduction annuelle des émissions d'une tonne de  $\text{CH}_4$  et d'une tonne de  $\text{CO}_2$ .

Sans tenir compte de la rétroaction climatique, on obtient pour ces trois indicateurs les valeurs indiquées dans le tableau 6 et par la figure 2.

| RE5    | 1   | 5   | 10  | 15  | 20  | 25 | 30 | 40 | 50 | 100 |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|-----|
| PRG    | 120 | 114 | 104 | 94  | 84  | 75 | 68 | 57 | 48 | 28  |
| PRGP   | 120 | 116 | 110 | 104 | 97  | 91 | 85 | 76 | 68 | 45  |
| PRGPro | 120 | 117 | 113 | 108 | 104 | 99 | 94 | 86 | 79 | 56  |

Tableau 6 : PRG, PRGP et PRGPro du  $\text{CH}_4$ , sans rétroaction climatique

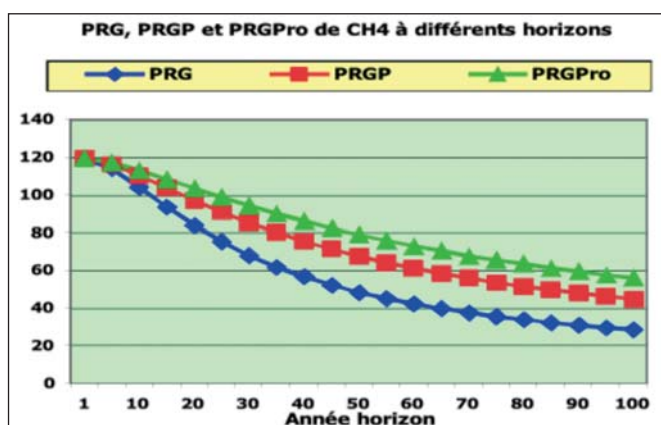


Figure 2 : PRG, PRGP et PRGPro du  $\text{CH}_4$ , sans rétroaction climatique

On constate que :

- À l'horizon de 100 ans, référence choisie pour définir l'équivalence du  $\text{CH}_4$ , le PRGP et le PRGPro sont respectivement 1,6 et 2 fois supérieurs au PRG.
- À l'horizon de 20 ans, les mêmes facteurs sont de 1,15 et 1,24.
- Et à l'horizon de 40 ans (soit pour 2050), les mêmes facteurs sont de 1,33 et 1,51.

Ces facteurs seraient encore amplifiés par les effets des rétroactions climatiques, notamment pour les horizons éloignés, et pour les émissions de méthane fossile.

### 2.3 - Le potentiel de température globale (PTG)

Les rapports RE4 et RE5 et surtout ce dernier, proposent un autre concept pour comparer les effets sur le climat des émissions de deux gaz à effet de serre différents : le « Potentiel de température globale », GTP. Le GTP est défini comme le rapport entre les changements de la température moyenne de surface à une année horizon induits par une émission ponctuelle d'un kilogramme d'un gaz (ici le  $\text{CH}_4$ ) et d'un kilogramme de  $\text{CO}_2$ . La valeur du GTP du  $\text{CH}_4$  à l'horizon TH est égale au rapport des forçages radiatifs du  $\text{CH}_4$  et du  $\text{CO}_2$  résultant d'une émission ponctuelle l'année 0 d'1 tonne de  $\text{CH}_4$  et d'une tonne de  $\text{CO}_2$ .

Le rapport RE5 met en relief cette nouvelle métrique. En particulier, le PTG est modifié de façon significative par rapport aux valeurs retenues dans le rapport 2007 (ou déduites pour le PTG de ce rapport).

| Horizon temporel                  | 20 ans | 100 ans |
|-----------------------------------|--------|---------|
| <b>PTG</b>                        |        |         |
| RE4                               | 34     | 0,07    |
| RE5                               | 67     | 4       |
| RE5 avec rétroactions climatiques | 70     | 11      |
| <b>PTGP</b>                       |        |         |
| RE4                               | 72     | 25      |
| RE5                               | 84     | 28      |
| RE5 avec rétroactions climatiques | 86     | 34      |

Tableau 7 : Évolution de la valeur du PTG depuis le rapport RE4

### 3. - Le résumé à l'intention des décideurs du groupe de travail III du GIEC

Le « Résumé à l'intention des décideurs » du Groupe de travail III du GIEC a été rendu public le 13 avril 2014, en version anglaise. Nous le désignons ici par RE5-RID3 pour le distinguer de celui présenté au chapitre 1. Ce texte est complété utilement par le « Résumé technique » (Technical Summary) qui l'accompagne.

Le rapport du Groupe III et le résumé pour les décideurs portent sur les politiques et mesures permettant de réduire les émissions des gaz à effet de serre dues aux activités humaines (GES).

Nous nous intéressons ici à la question de la comptabilité de ces émissions.

#### 3.1 - Les émissions de GES

Les émissions de GES sont uniquement exprimées en tonne équivalent CO<sub>2</sub> (t CO<sub>2</sub>éq) comme le montre la figure 3. On voit que, en 2010, les émissions de CO<sub>2</sub> représentent 65 % du total et les émissions de CH<sub>4</sub>, 16 %, en t CO<sub>2</sub>éq.

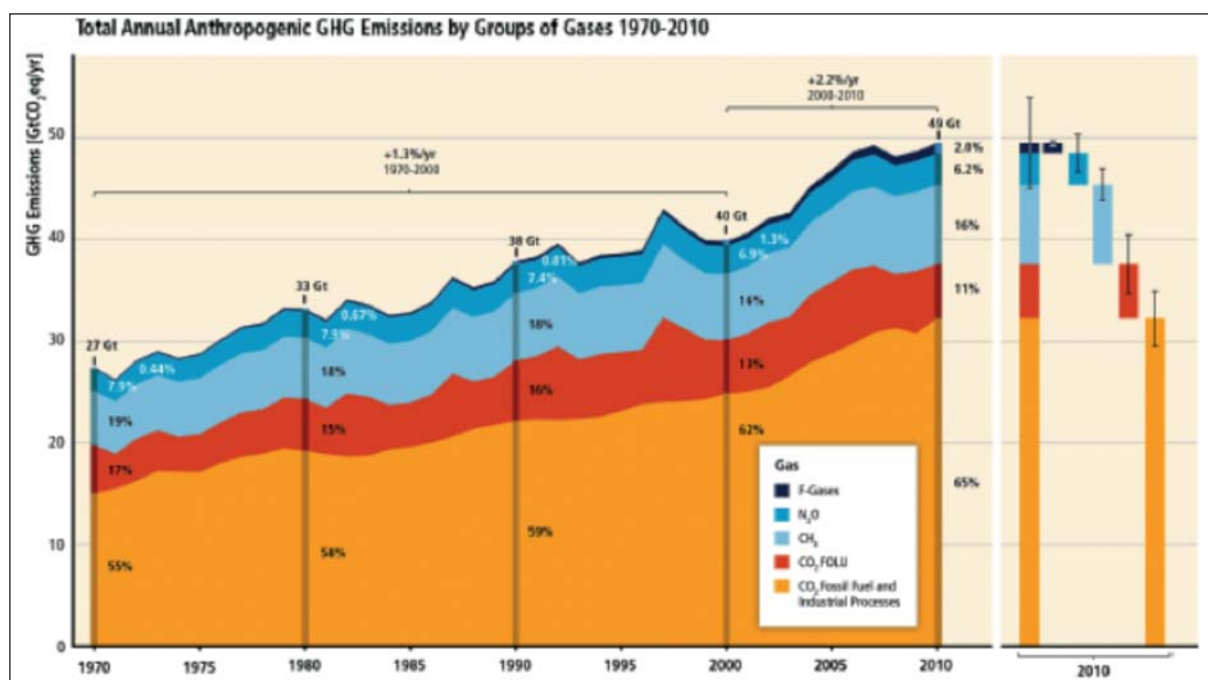


Figure 3 : les émissions de GES

#### 3.2 - Le PRG

La valeur des émissions de CH<sub>4</sub> exprimée en t CO<sub>2</sub>éq dépend donc de la valeur choisie pour le PRG du CH<sub>4</sub>.

Le rapport nous dit qu'il s'agit bien, comme c'est l'habitude, du PRG à 100 ans, mais aussi que c'est la valeur du PRG fournie par le second rapport du GIEC (dit SAR: Second Assessment Report) de 21 qui est utilisée. Le résumé technique nous dit également que, depuis ce second rapport, les valeurs du PRG ont augmenté, mais il considère que cela ne devrait pas modifier sensiblement les politiques.

Or nous avons vu plus haut que plusieurs éléments devraient être pris en compte sur cette question du PRG :

- a) La variation de sa valeur à 100 ans depuis le 21 du SAR. Dans RE5, la valeur est de 28 pour le méthane (30 pour le méthane fossile) et de 34 (36 pour le fossile) en prenant en compte les rétroactions climatiques.
- b) Pour qualifier des politiques et mesures, il paraît indispensable d'utiliser le PRGP. Celui-ci vaut 45 à 100 ans, même sans prise en compte des rétroactions climatiques et de la nature fossile ou non du méthane. Ainsi, à 100 ans, une valeur double du PRG serait plus réaliste pour anticiper les conséquences d'une politique de réduction des émissions de méthane.
- c) On ne peut pas se contenter d'une vision à 100 ans alors que les climatologues nous disent que les phénomènes s'accélèrent et que les trente années qui viennent seront décisives.

Si l'on se place à un horizon de 40 ans (2050), et sans prendre en compte les rétroactions climatiques, le PRG vaut 57 et le PRGP 76.

Un PRGP de 76 donne un effet en 2050 à peu près égal pour les émissions actuelles de CO<sub>2</sub> et de CH<sub>4</sub>, si elles se pérennisaient jusqu'en 2050.

Ces questions sont évoquées dans le « résumé technique » (page 16), y compris l'intérêt de ne pas raisonner sur un seul gaz « équivalent CO<sub>2</sub> » du fait de ces difficultés.

*Remarque :*

Le PTG (en anglais GTP: « Global temperature change potential ») est mentionné comme métrique alternative dans le résumé technique accompagnant le résumé à l'intention des décideurs (Table TS.5) mais il n'est pas utilisé dans l'élaboration des politiques et mesures et n'apparaît pas dans le résumé à l'intention des décideurs.

### 3.3 - Les politiques et mesures

L'utilisation du PRG à 100 ans avec la valeur de 21, l'absence de prise en compte de date plus proche que 2114, par exemple 2050, l'absence de raisonnement sur des réductions pérennes, conduisent très vite à passer de la tonne équivalent CO<sub>2</sub> à la tonne de CO<sub>2</sub>, et ensuite aux tonnes de CO<sub>2</sub> émises par la combustion des énergies fossiles.

Les politiques et mesures portant sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> sont évidemment indispensables mais il est dommage que ne soient pas mis en œuvre de façon parallèle et complémentaire, des politiques et mesures sur la réduction des émissions de méthane dont on a vu l'importance pour le court et le moyen terme.

Donnons en un exemple pour l'Europe. Imaginons que l'ensemble des pays de l'Union européenne (UE 27) s'aligne, d'ici à 2020, sur les émissions de méthane issues des déchets organiques par habitant d'un pays comme l'Allemagne, soit 6,8 kg par habitant. Les émissions totales de méthane du secteur des déchets de l'UE 27 atteindraient alors de l'ordre de 3,5 Mt (millions de tonnes) alors qu'elles ont été de 6 Mt en 2013. En termes d'effets sur le réchauffement global à l'horizon 2050, mesurés par le PRGP, cette réduction pérenne des émissions de CH<sub>4</sub> serait équivalente à celle d'une réduction pérenne des émissions de CO<sub>2</sub> de 237,5 Mt ( $95^{20} \times 2,5 \text{ Mt} = 237,5$ ) qui serait réalisée d'ici à 2020.

Une telle réduction des émissions de CO<sub>2</sub> d'ici à 2020 pourrait être produite par une réduction pérenne de 8 % des émissions totales de CO<sub>2</sub> de l'UE27 (3000 Mt environ), ou par une réduction pérenne de 32 % des émissions de CO<sub>2</sub> dans le secteur résidentiel de l'UE27 ou encore par une réduction pérenne de 26 % des émissions de CO<sub>2</sub> du secteur transport de l'UE27.

Cet exemple d'un programme a priori modeste et à portée de main de réduction des émissions d'un secteur d'émissions de méthane de l'Union Européenne (puisque'il s'agit simplement de rejoindre les performances en matières de déchets d'un des pays concernés) montre l'importance de l'enjeu qui s'attache aux réductions d'émissions de méthane.

L'urgence d'une réduction rapide des émissions de gaz à effet de serre a été rappelée très récemment par le groupe III du GIEC. Il serait donc dommage de se priver de l'opportunité de réduction significative que constitue l'action sur le méthane, en particulier dans les secteurs énergétique et dans celui des déchets, secteurs dans lesquels des réductions importantes sont encore possibles à des coûts très attractifs<sup>21</sup>.

20 - Le PRGP du méthane à 30 ans est de 95 (voir tableau 6)

21 - Voir article « Les émissions de méthane en Europe : Évolution sectorielle depuis 1990, enjeux et coûts d'un programme concerté de réduction dans les différents secteurs économiques », B Dessus, ci-dessous.