



# Réduire le Méthane

L'AUTRE DEFI DU CHANGEMENT CLIMATIQUE

BENOIT BLANC

---

*Rapport de stage effectué au sein de la Division Climat du 3 juin au 3 décembre 2018 sous la supervision de Michel Colombier (IDDRI) et Stéphane His (AFD)*

---

## DECLARATION

L'AFD ne garantit pas l'exactitude des informations et opinions présentées au sein de ce rapport.  
Si l'AFD a contribué à la relecture des données exposées, elle ne peut en aucun cas être tenue responsable du résultat final de l'étude.  
Les arguments articulés ne peuvent être attribués à l'AFD et n'engagent que l'opinion et les convictions de leur auteur.

## TABLE DES MATIERES

<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS.....</b>	<b>3</b>
<b>RESUME .....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>7</b>
<b>10 ANS APRES : OU EN SOMMES-NOUS ? .....</b>	<b>8</b>
DIMENSIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES DU PROBLEME : EVALUER JUSTEMENT LES EMISSIONS ET LA CAPACITE DU METHANE A RECHAUFFER LE CLIMAT .....	
<i>Bases de données d'émissions de méthane, méthodologies et incertitudes.....</i>	8
<i>L'Évaluation du Pouvoir de réchauffement global (PRG) du méthane .....</i>	14
ETAT DES LIEUX DES EMISSIONS MONDIALES, POTENTIELS DE REDUCTION ET MARGES DE MANŒUVRE .....	
<i>Bilans et budgets méthane : le constat d'une croissance globale des émissions.....</i>	20
<b>ACTION ANTHROPIQUE : SECTEURS EMETTEURS ET OPPORTUNITES D'ACTION .....</b>	<b>22</b>
LA REDUCTION DES EMISSIONS D'ORIGINE AGRICOLE.....	
<i>Diminuer l'intensité méthane de la riziculture .....</i>	23
<i>Atténuer les émissions liées à l'élevage .....</i>	28
VERS UN SECTEUR ENERGETIQUE MOINS EMETTEUR DE METHANE .....	
<i>Des initiatives pour réduire les émissions liées au secteur pétrolier et gazier.....</i>	35
<i>Avancer vers des mines de charbon moins émettrices.....</i>	39
<i>Les émissions liées aux barrages hydroélectriques .....</i>	41
DES PROGRAMMES DE REDUCTION DES EMISSIONS LIEES AUX DECHETS.....	
<i>Déchets solides : Atténuer les émissions des décharges .....</i>	44
<i>Eaux usées &amp; Atténuation du méthane .....</i>	46
<b>DES EXEMPLES ILLUSTRATIFS DE REDUCTION DES EMISSIONS DE METHANE DANS LES PAYS D'INTERVENTION DE L'AGENCE .....</b>	
<b>49</b>	
LE METHANE AU LAOS .....	
<i>Vue d'ensemble.....</i>	49
<i>Sensibilité au PRG.....</i>	51
<i>Trajectoires « bas-méthane » au Laos .....</i>	51
<i>Conclusions.....</i>	52
LE METHANE AU VIETNAM .....	
<i>Vue d'ensemble des émissions de GES par secteur .....</i>	53
<i>Sensibilité du bilan carbone aux variations du PRG .....</i>	55
<i>Réduire les émissions de méthane vietnamiennes.....</i>	55
<i>Conclusions.....</i>	56
LE METHANE EN COLOMBIE.....	
<i>Vue d'ensemble.....</i>	57
<i>Sensibilité au PRG du méthane .....</i>	60
<i>Réduire les émissions de méthane colombien.....</i>	60
<i>Conclusions.....</i>	62
<b>CONCLUSIONS POUR L'ACTION .....</b>	<b>63</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Méthodologie générale pour l'évaluation des émissions de GES .....	9
Figure 2 : Estimations des émissions de méthane entérique (d'après Global Research Alliance, 2016) .....	9
Figure 3 : Répartition des émissions entériques par types d'animaux (2001-2011, FAO) .....	11
Figure 4 : Répartition des émissions liées à la gestion du fumier par type d'élevage (2001-2011, FAO) .....	11
Figure 5 : Estimation Tier 2 des émissions de méthane rizicole .....	12
Figure 6 : Comparatif des méthodes d'évaluation des émissions de méthanes liées aux déchets .....	14
Figure 7 : PRG du méthane à différents horizons temporels (avec prise en compte des rétroactions climatiques) .....	15
Figure 8 : Pertinence environnementale de la production d'électricité à partir de gaz et de charbon à différents PRG (calculs de l'auteur, d'après IEA, 2017) .....	16
Figure 9 : Focus sur les fuites de gaz d'après Alvarez et al., 2018 et Howarth et al., 2015 .....	17
Figure 10 : Impacts (PRG à 20 ans) l'utilisation de différents combustibles fossiles pour la production d'électricité .....	17
Figure 11. Forçage radiatif cumulé d'une émission évitée d'1 kg de méthane ou de 21kg de dioxyde de carbone par an (pérenne) à partir de l'année 0 .....	19
Figure 12 : Budget Méthane du Global Carbon Project (2003-2012).....	20
Figure 13 : Sources d'émissions de méthane (IEA 2017, d'après Saunio et al. 2016) - Total : 570 Mt CH <sub>4</sub> .....	20
Figure 14 : Trajectoires et émissions actuelles .....	21
Figure 15 : Intensité des GES et productivité de quelques denrées de base (1961-2010, FAO).....	23
Figure 16 : Impact de différentes pratiques d'irrigation sur les émissions de méthane (d'après Wassmann, 2000) .....	24
Figure 17. Focus agronomique sur l'irrigation alternée (d'après Richards, 2014) .....	26
Figure 18 : Focus agronomique sur la pratique du SRI (d'après CIRAD et documentation interne AFD).....	27
Figure 19 : Efficacité des différentes approches d'atténuation des émissions de méthane (d'après Bellarby, 2013) .....	28
Figure 20 : Grands types de modalités d'atténuation des émissions de méthane d'origine entérique .....	29
Figure 21 : Leviers et scénario de baisse de l'intensité méthane de l'élevage uruguayen (FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre, 2017).....	30
Figure 22 : Levier alimentaire pour une trajectoire bas-carbone de l'élevage uruguayen (d'après Schwoob et al, 2016) .....	30
Figure 23 : Relation productivité / émissions de GES (d'après Gerber et al., 2011) .....	31

Figure 24 : Estimation (en % des émissions du secteur et en valeur absolue) du potentiel d'atténuation dans les pays en développement (d'après FAO, 2013) .....	32
Figure 25 : Approche sylvo-pastorale de l'élevage bovin.....	32
Figure 26 : Diffusion des technologies de biogaz .....	34
Figure 27 : Abaques de comparaison de l'émissivité de deux combustibles .....	36
Figure 28. Courbe d'abattement marginal & méthodes d'atténuation des fuites de méthane (IEA, 2018) .....	38
Figure 29 : Focus sur les émissions liées à l'exploitation du gaz de schiste (d'après Howarth et al., 2011, NASA, 2018 et EPA, 2016).....	38
Figure 30 : Mécanismes simplifiés de production du méthane dans un lac de retenue.....	41
Figure 31 : Émissions cumulées de GES de différentes alternatives (Guérin, 2006 ; barrage du Petit Saut en Guyane) pour une même capacité électrique installée. ....	42
Figure 32. Typologie de barrages, critères discriminants et émissions de méthane .....	43
Figure 33. Barrages planifiés (rouge) et existants (bleus) (d'après Zarfl, 2014).....	44
Figure 34 : Process industriel typique de traitement des boues d'épuration .....	47
Figure 35 : Systèmes d'assainissement et émissions de méthane .....	48
Figure 36 : Émissions historiques par secteur au Laos (EDGAR / FAO) .....	49
Figure 37 : Poids du méthane dans le bilan laotien et sous-secteurs associés (EDGAR) .....	50
Figure 38 : Bilan des émissions laotiennes à différents PRG (données EDGAR sans UTCTAF) .....	51
Figure 39 : Émissions historiques de GES du Vietnam (EDGAR, FAO) .....	53
Figure 40 : Poids du méthane dans le bilan vietnamien et sous-secteurs associés (EDGAR) .....	54
Figure 41 : Bilan vietnamien à différents PRG (données EDGAR sans LUCF) .....	55
Figure 42. Intérêt du remplacement des centrales charbon vietnamiennes .....	56
Figure 43a : Émissions historiques tous GES confondus (LUCF compris) en Colombie (données EDGAR et FAO)	57
Figure 44a : Émissions de GES en 2010 d'après la NDC colombienne (IDEAM, 2015) ; PRG du méthane : 21 .....	58
Figure 45 : Poids du méthane dans le bilan colombien et sous-secteurs associés (EDGAR).....	59
Figure 46 : Bilan des émissions colombiennes en 2012 à différents PRG (données EDGAR sans LUCF).....	60

Il n'y a pas un gaz à effet de serre, mais plusieurs. Ils sont convertis par commodité en équivalents dioxyde de carbone ( $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ) dans les débats sur le climat, une simplification qui tend à masquer une réalité plus complexe. Si le gaz carbonique, issu en grande partie de la combustion des énergies fossiles, a causé plus de la moitié du réchauffement climatique observé depuis le début de l'ère industrielle on oublie souvent que le méthane a provoqué le tiers des dégâts sur le climat. Le méthane est un gaz relativement répandu : c'est le gaz de ville mais aussi le principal constituant du fameux grisou des mines de charbon.

Ce gaz est aussi produit par la biodégradation de la matière organique qui peut avoir différentes origines comme l'élevage, l'agriculture, les déchets, les boues d'épuration des eaux. Le constat d'une dérive massive des émissions de méthane invite à s'intéresser de près aux opportunités de réduction de ce gaz à effet de serre dans le cadre des objectifs fixés par l'Accord de Paris dans le cadre de la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique. Ceci est d'autant plus vrai que son impact sur le climat est sous-estimé par l'utilisation de métriques en décalage avec les horizons sur lesquels la communauté internationale et scientifique raisonne : pour l'Accord de Paris, il s'agit pour mémoire d'opérer une réduction rapide des émissions anthropiques nettes qui doivent devenir nulles entre 2050 et 2100 ; par ailleurs, la nécessité d'opérer une inflexion des trajectoires d'émissions dans les 20 à 30 prochaines années a tout récemment été soulignée dans le rapport du GIEC pour un monde à  $1,5^\circ\text{C}$ . Le pouvoir de réchauffement global (PRG) du méthane<sup>1</sup> diminue en effet considérablement avec le temps et reste 33 fois plus élevé que celui du dioxyde de carbone, même après 100 ans ; c'est classiquement cette valeur qui est retenue, aux dépens du PRG évalué à 20 an, à 84.

C'est de ce constat que part le travail suivant ; nous nous intéressons en premier lieu aux enjeux de méthodologiques qui structurent le débat autour du méthane (A) avant de questionner les solutions d'atténuation dans des secteurs stratégiques du développement (B) et dans quelques pays d'intervention de l'Agence (C).

Les opportunités envisagées offrent systématiquement des co-bénéfices suffisants dans des domaines divers du développement pour ne pas être entendus seulement au titre de l'atténuation du changement climatique mais comme de véritables réponses climato-intelligentes aux ambitions des pays dans des secteurs stratégiques de leur économie :

- Dans le secteur agricole (élevage, riziculture) l'augmentation de la productivité tend à réduire l'intensité méthane de la production ; certaines pratiques agronomiques permettent ainsi d'atténuer cette intensité sans affecter les rendements, voire en les augmentant. C'est ainsi qu'au Vietnam et au Laos où la riziculture inondée est la première source d'émissions de GES, une réflexion sur l'irrigation alternée (technologie qui s'intègre bien dans les systèmes intensifs) menée à l'échelle des territoires irrigués serait susceptible de réduire drastiquement les émissions ; par ailleurs les gains de productivité permis par la modernisation de l'élevage à production constante vont également dans le sens d'une atténuation des émissions : en Colombie, même un faible gain de productivité peut avoir un impact très positif vu la taille du cheptel. En outre, la diffusion de technologies « biogaz » a rencontré un fort succès dans le monde paysan et mérite d'être soutenue davantage dans les pays en développement.
- Dans le secteur de l'énergie, la prise en compte des émissions de méthane n'est pas sans conséquences : les émissions qui interviennent de manière fugitive le long de la chaîne de valeur du gaz naturel peuvent avoir un impact significatif dans le bilan carbone des projets de production d'électricité et sont ainsi de

---

<sup>1</sup> Qui reflète la capacité d'un gaz à réchauffer l'atmosphère relativement au dioxyde de carbone à différents horizons temporels. On utilise le PRG pour convertir les émissions de méthane en  $\text{tCO}_{2\text{eq}}$  de manière à rendre lisibles les bilans carbonés. Dire que le PRG du méthane à 100 ans est de 33 revient à dire qu'une tonne de méthane aura, au bout de 100 ans, réchauffé l'atmosphère autant que 33 tonnes de dioxyde de carbone ; c'est classiquement cette valeur qui est retenue par la communauté internationale

nature à questionner la place du gaz comme « carburant de la transition énergétique » : le remplacement de centrales thermiques à charbon par des centrales à gaz ne se révèle ainsi pas toujours une option susceptible de décarboner significativement le mix énergétique des pays d'intervention de l'Agence. Il est pourtant possible de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre liées à l'exploitation des hydrocarbures à faible coût en travaillant, par exemple, sur la maintenance et en utilisant des technologies déjà existantes. Dans les pays tropicaux, l'idée de répondre aux besoins d'électrification par la construction d'ouvrages hydro-électriques doit également être considérée avec beaucoup de précautions lorsqu'elle est associée à de grandes quantités de méthane potentiellement émises dans les retenues. Dans le cas des barrages à faible capacité et à grande surface, ces émissions sont susceptibles de faire basculer un barrage du statut de solution bas-carbone à celui de projet émissif. Un tel constat invite à envisager, via la prise en compte de ces nouvelles variables, des stratégies d'optimisation et de développement qui sortent du référentiel habituel de maximisation du productible sous contrainte du coût d'investissement ; ceci est d'autant plus nécessaire que la grande majorité des projets de barrages qui devront être financés dans les prochaines années sont précisément localisés dans la zone climatique qui doit attirer la vigilance.

- Dans le secteur des déchets et de l'assainissement enfin, la valorisation du biogaz généré à partir de méthanisation des déchets ou des boues d'épurations offre un grand potentiel d'atténuation réalisable avec la nécessité d'une prise en compte réelle du contexte technique politique et socio-économique. Ces projets apportent de fait des co-bénéfices importants tant sur la partie climat que sur le traitement des déchets ou de l'eau

Lorsque la rentabilité financière des projets n'est pas complètement avérée, passer à un référentiel dans lequel le méthane émis a une valeur intrinsèque renverse complètement la perspective. L'atténuation du méthane ne pourra donc se faire sans mener une véritable réflexion instrumentale.

Les objectifs politiques de lutte contre le changement climatique comme ceux de l'Accord de Paris sont fixés en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Afin de simplifier l'appréciation de l'importance relative des différents GES sur le réchauffement climatique, la communauté internationale s'appuie essentiellement sur le potentiel de réchauffement global (PRG), outil dont une utilisation abusive peut conduire à une sous-estimation des effets sur le climat du méthane (méthane), gaz à effet de serre puissant dont le PRG est très sensible à la période de référence considérée. En termes de politiques de développement, cela conduit trop souvent à négliger les vertus d'actions d'atténuation des émissions de ce gaz à courte vie dans l'atmosphère (12 ans), actions qui, en plus d'être efficaces à court et moyen-terme par rapport aux investissements d'argent à engager, se révèlent souvent être gagnantes sur plusieurs aspects, et ce en particulier lorsqu'elles sont pérennes. Ces constats nous conduisent à questionner la pertinence des objectifs exprimés en tonnes de dioxyde de carbone équivalent et la validité des outils d'ingénierie sociale basés sur l'utilisation de cette unité.

Ce travail vient prolonger un document de travail interne à l'AFD<sup>2</sup> rédigé en 2008 par Benjamin Dessus et Bernard Laponche et s'articule autour de 3 problématiques :

- Quelles bases scientifiques permettent de justifier de la nécessité d'une action ciblée des bailleurs de fonds sur la question du méthane ?
- Sur quelles méthodologies et quels horizons temporels doit s'appuyer une métrique qui rende compte de manière cohérente des émissions de méthane ?
- Quelle réponse apporter pour satisfaire les ambitions des états dans des secteurs stratégiques (sécurité alimentaire, énergie ...) émissifs en méthane et réussir en même temps l'Accord de Paris ?

En premier lieu, cette étude fait l'état des lieux des connaissances et des méthodologies d'évaluation des émissions méthane. Elle vise ensuite à montrer que le potentiel de réduction des émissions de méthane, y compris à bas coûts et dans des conditions compatibles avec les objectifs économiques des états, est important. Puisqu'il s'agit également de questionner les émissions de méthane en devenir, on présentera enfin les opportunités pour les pays émergents de maîtriser la croissance de leurs émissions de GES dans les secteurs de l'agriculture, de l'énergie et de la gestion des déchets en particulier via l'analyse de cas concrets en Amérique Latine et en Asie du Sud-Est.

---

<sup>2</sup> « Réduire le méthane : l'autre défi du changement climatique » (Août 2008) B.Dessus, B.Laponche



## 10 ANS APRES : OU EN SOMMES-NOUS ?

10 ans après l'étude de B.Dessus et B.Laponche produite pour l'AFD, de nombreuses choses ont changé : l'arrivée de bases de données d'émissions où figurent des estimations (toujours soumises à un relativement fort niveau d'incertitudes) des rejets de méthane dans l'atmosphère va dans le sens d'une meilleure prise en compte de ces émissions par les décideurs publics et bailleurs de fonds.

Les préoccupations méthodologiques formulées en 2008 par les auteurs restent toujours d'actualité. Malgré plusieurs réévaluations, des données scientifiques datées ou mal utilisées continuent de guider en partie l'action des décideurs publics en sous-estimant systématiquement la place du méthane dans les politiques d'atténuation du changement climatique.

### DIMENSIONS TECHNIQUES ET SCIENTIFIQUES DU PROBLEME : EVALUER JUSTEMENT LES EMISSIONS ET LA CAPACITE DU METHANE A RECHAUFFER LE CLIMAT

#### BASES DE DONNEES D'EMISSIONS DE METHANE, METHODOLOGIES ET INCERTITUDES

La mesure précise des émissions de méthane constitue un élément stratégique essentiel dans la définition de programmes d'action et d'atténuation. Si depuis 2008 des bases de données exhaustives et sectorielles présentant des quantités physiques précises de GES non-CO<sub>2</sub> ont vu le jour (CAIT<sup>3</sup>, EDGAR<sup>4</sup>, ...), les résultats qu'elles proposent demeurent soumis à de fortes incertitudes.

On se propose de passer en revue les différentes sources et méthodologies adoptées pour évaluer secteur par secteur les émissions de méthane<sup>5</sup>.

La plupart des bases de données existantes (EDGAR, CAIT, FAO ...) sur le sujet reposent au moins en partie sur les méthodes « Tier 1 » du GIEC : il s'agit de multiplier des données d'activité (la provenance diverse de ces données explique bien souvent les écarts qu'on peut rencontrer en comparant les émissions avancées par les différentes bases de données et constitue la différence principale entre ces sources) par des facteurs d'émissions spécifiques calculés par l'IPPC pour une région du monde donné (pays, ensemble de pays, continents). Ces méthodes ont l'avantage d'être relativement simples à mettre en place mais, même si elles reposent sur les données de référence du GIEC, sont soumises à de plus grandes incertitudes que les méthodes Tier 2 ou 3 (qui reposent sur des facteurs d'émissions plus beaucoup plus fins, à des échelles géographiques plus restreintes mais qui sont en contrepartie plus difficiles à mettre en œuvre) : pour l'évaluation des émissions du cheptel bovin en Asie, extrêmement variable d'un pays à l'autre, il n'est par exemple pas forcément pertinent de n'utiliser qu'un unique facteur d'émission.

<sup>3</sup> CAIT Climate Data Explorer. 2017. Washington, DC: World Resources Institute. Disponible en ligne à : <http://cait.wri.org>

<sup>4</sup> European Commission, Joint Research Centre (JRC)/Netherlands Environmental Assessment Agency (PBL). Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), release version 4.3.1. Disponible en ligne à : <http://edgar.jrc.ec.europa.eu/overview.php?v=431>, 2016

<sup>5</sup> Pour les détails méthodologiques par secteurs, voir « Global Anthropogenic Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions: 1990 – 2030 », US EPA 2012 et la méthodologie EDGAR / IEA disponible à : [http://edgar.jrc.ec.europa.eu/docs/IEA\\_PARTIII.pdf](http://edgar.jrc.ec.europa.eu/docs/IEA_PARTIII.pdf)

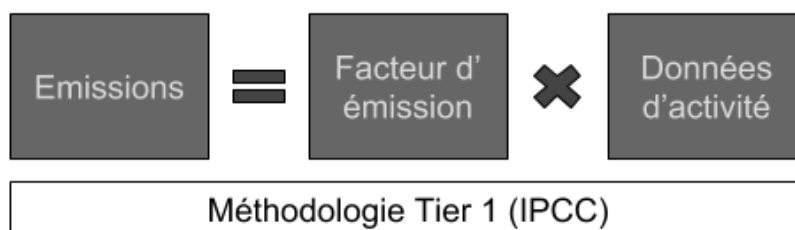


Figure 1 : Méthodologie générale pour l'évaluation des émissions de GES

Dans certains cas, les bases de données utilisant les méthodes Tier 2 ou Tier 3 et reposant sur un plus grand nombre de facteurs, pourront s'avérer plus appropriée. C'est sur cette base que des pays tels que l'Uruguay ont établi une partie de leur politique rurale dans le cadre leur INDC.

## ÉVALUATION DES EMISSIONS D'ORIGINE AGRICOLE

Le méthane agricole provient essentiellement de l'élevage, en particulier bovin (fermentation entérique, stockage du fumier) et de la riziculture. Vu la diversité des pratiques agricoles à l'intérieur d'une zone géographique donnée, la pertinence des facteurs d'émissions GIEC (qui on le rappelle, sont souvent établis à l'échelle d'un continent) est à nuancer.

## METHANE ET ELEVAGE

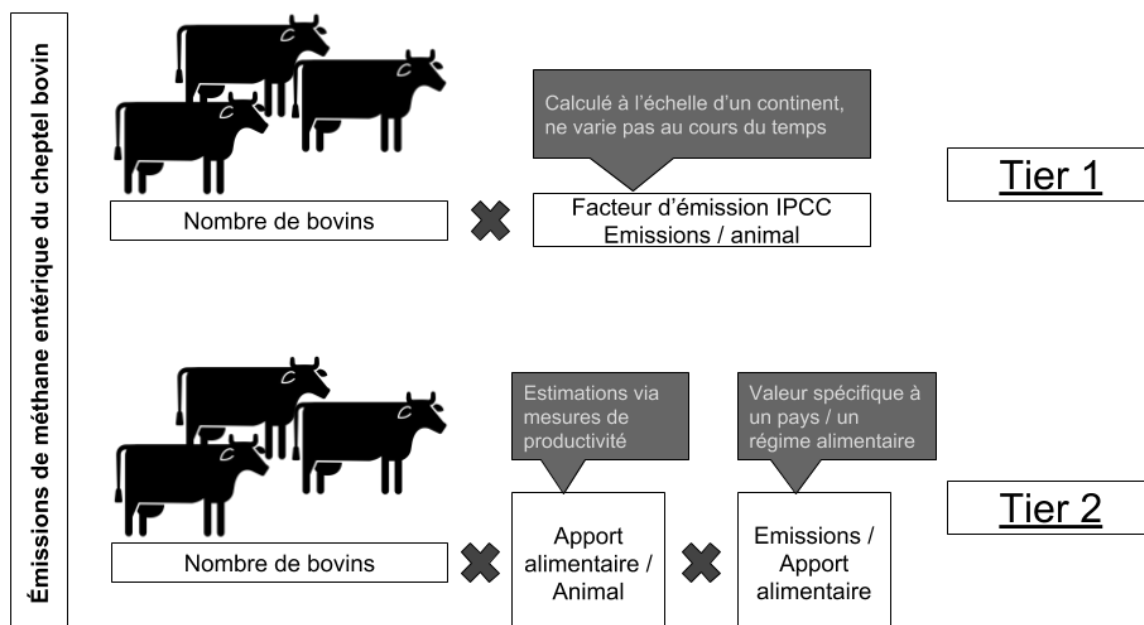


Figure 2 : Estimations des émissions de méthane entérique (d'après Global Research Alliance, 2016<sup>6</sup>)

La méthode Tier 1 (retenue par la base de données EDGAR ou par la FAO par exemple) qui utilise un coefficient unique pour tous les bovins d'un espace géographique donné quel que soit leur âge et leur productivité insiste plus sur le nombre de bovin : on pourrait alors croire que la meilleure solution pour réduire les émissions de GES est de réduire la taille du cheptel, ce qui est difficilement concevable dans un certain nombre

<sup>6</sup> Global Research Alliance, "Livestock development and climate change: The benefits of advanced greenhouse gas inventories", 2016

de pays concernés par les questions de sécurité alimentaire et où l'élevage représente une part significative du PIB.

La méthode Tier 2 a donc le double avantage de reconnaître l'impact d'un changement de productivité (induit, par exemple, par la sélection génétique) et de distinguer au sein de la catégorie « Bétail bovin », plusieurs sous-catégories d'animaux aux régimes alimentaires et émissions de méthane différents.

Zone géographique / Classe de bovins	Amérique du Nord	Océanie	Asie	Europe Ouest	Europe Est	Amérique Latine	Afrique Moyen Orient	Inde
Laitier	128	90	68	117	99	72	46	58
Autre bétail bovin	53	60	47	57	58	56	31	27

Tableau 1 : Facteurs d'émissions GIEC en kgCH<sub>4</sub> / tête / an<sup>7</sup>

Type de bétail	Données de productivité	Nombre d'animaux	Émissions par tête (kg / an)	Méthane émis total (kt / an)
<b>Tier 1</b>				
Bétail bovin	-	1 000 000	47	47
<b>Tier 2</b>				
Vache reproductrice	Poids vifs, taux de reproduction	300 000	44	13.2
Veaux (0-1 ans)	Poids de naissance, gain de poids	200 000	20	4
Veaux (1-2 ans)	Gain de poids	180 000	35	6.3
Vaches de relève	Gain de poids	50 000	40	2
Vaches en finition	Gain de poids, poids final, jours de vie	130 000	65	8.5
Vaches en finition (import)	Poids à l'import, poids final, jours de vie	135 000	75	10.1
Taureaux reproducteurs	Poids vif	5 000	50	0.3
<b>Total du Cheptel</b>				<b>44.4</b>

Tableau 2 : Inventaire théorique d'un pays asiatique (coefficients GIEC, d'après Global Research Alliance)

Notons que si l'essentiel provient de l'élevage bovin à proprement dit, 26% des émissions issues de la fermentation entérique sont imputables à d'autres ruminants.

<sup>7</sup> FAO, « Estimating Greenhouse Gas Emissions in Agriculture », 2015, p.22

### Fermentation entérique par sous-secteur

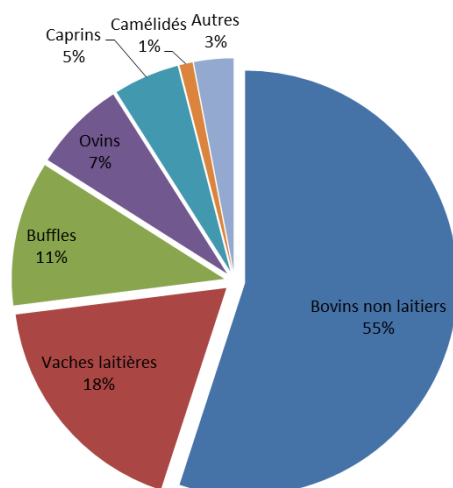


Figure 3 : Répartition des émissions entériques par types d'animaux (2001-2011, FAO)

Si le poste d'émission agricole le plus important associé à l'élevage est la fermentation entérique, du méthane (et de l'oxyde nitreux) est aussi émis lors du traitement du fumier pour lequel un processus de décomposition anaérobies intervient. La quantité exacte de méthane émis est de manière évidente proportionnelle à la taille du cheptel mais la FAO inclut également dans le calcul du facteur d'émission la température moyenne de la région considérée.

Si dans ce domaine également l'élevage bovin devance les autres types d'élevage, ces derniers (en particulier l'élevage porcin) sont plus représentés que pour la fermentation entérique.

### Gestion du fumier par sous secteur

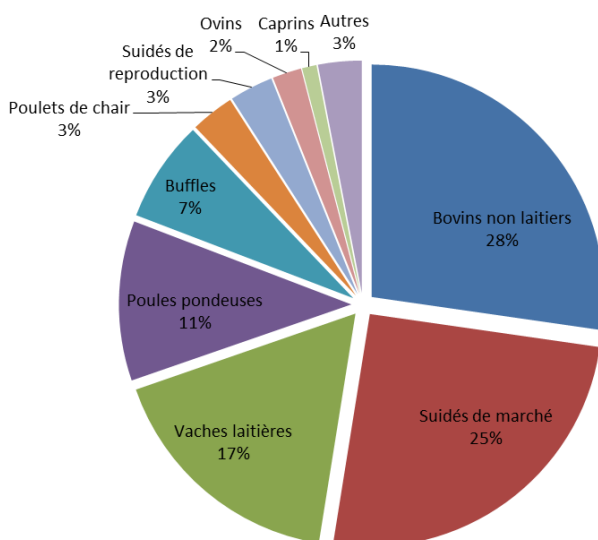


Figure 4 : Répartition des émissions liées à la gestion du fumier par type d'élevage (2001-2011, FAO)

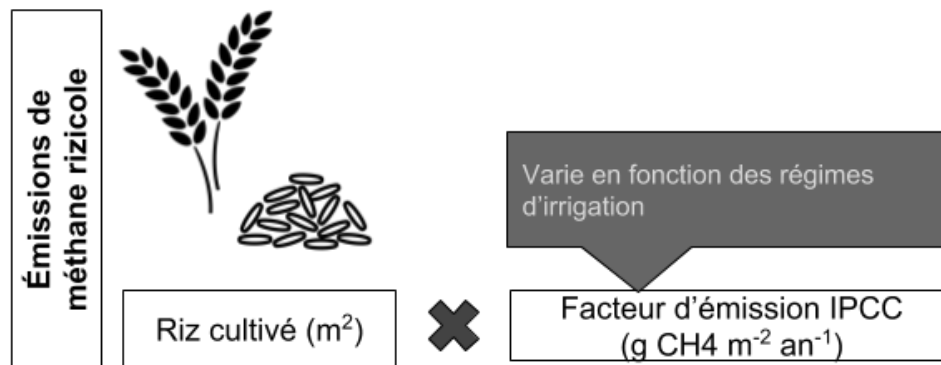


Figure 5 : Estimation Tier 2 des émissions de méthane rizicole

Le méthane émis dans les rizières provient de l'activité en conditions anaérobies de bactéries méthanogènes. Ces conditions varient en fonction du régime d'irrigation. Le facteur d'émission par défaut utilisé dans la méthodologie Tier 1 est d'1.3 kg CH<sub>4</sub>/ha/jour mais en fonction des régions et du régime d'irrigation cette valeur varie grandement. On présente ci-dessous les facteurs d'émissions FAO de différents pays d'Asie du Sud Est pour plusieurs régimes d'irrigation.

Pays / région	Irrigué	Pluvial	Eaux profondes
Birmanie	2.5	1.7	2.8
Thaïlande (N-E)	3.1	2.2	0.7
Thaïlande (S)	1.9	1.4	0.7
Cambodge			
Laos	2.3	1.45	1.46
Vietnam			

Tableau 3 : Facteurs d'émissions (kgCH<sub>4</sub> / ha / jour) de différents pays d'Asie du Sud-Est (Yan et al. 2003<sup>8</sup>)

La littérature scientifique spécialisée plaide pour une analyse critique, régionalisée et contextualisée des émissions de GES rizicoles<sup>9</sup> : d'abord par ce que bien souvent cette culture intervient dans des zones humides, déjà émettrices de méthane mais non comptabilisées dans les bilans carbone des états ; ensuite par ce que la grande diversité des pratiques rizicoles appelle une approche plus holistique de la question intégrant d'autres indicateurs que les GES et permettant d'appréhender ces systèmes agricoles complexes qui comprennent bien souvent une dimension agroforestière ou des pratiques qui associent riziculture et élevage.

Sans remettre en cause l'utilisation par les bases de données usuelles (EDGAR, CAIT), de la méthodologie Tier 1 qui a l'avantage d'être opérationnelle à l'échelle des pays, il faut admettre qu'elle peut être à l'origine d'estimations des émissions de méthane décalées par rapport à la réalité d'un projet d'élevage ou de riziculture.

<sup>8</sup> Yan, X., Ohara, T., Akimoto, H., 2003. Development of region-specific emission factors and estimation of methane emission from rice fields in the East, Southeast and South Asian countries. *Glob. Change Biol.* 9, 237–254.

<sup>9</sup> ibid

---

## ÉVALUATION DES EMISSIONS DU SECTEUR ENERGETIQUE

On retrouve des émissions de méthane le long de la chaîne de valeur de tous les combustibles fossiles. Il est ainsi émis, entre autres, lors du forage et du transport du pétrole, du gaz naturel (dont il est le composant majoritaire) et du charbon. L'analyse approfondie du cycle de vie de ces combustibles permet de mieux comprendre l'impact de la prise en compte des fuites de méthane sur le bilan carbone comparée des différentes filières fossiles notamment pour la production d'électricité.

On y distingue les émissions directes de dioxyde de carbone issues de la combustion et les émissions non maîtrisées de méthane.

Au-delà des filières fossiles, on observe également que dans certains cas (climat tropical ou sub-tropical, faible rapport entre productible et surface) les barrages hydroélectriques peuvent émettre dans de larges volumes de GES associés à la dégradation de la matière organique en conditions anaérobies. On a ainsi mesuré que dans certains cas extrêmes, un barrage tropical émet largement plus par kWh produit qu'une centrale à gaz ou à charbon<sup>10,11</sup> dans les années qui suivent sa mise en eau.

Toutefois, cette dernière source d'émission potentielle est encore en débat et quoiqu'il en soit elle est assez peu ou mal prise en compte par l'GIEC<sup>12</sup>. Si il est en effet difficile de définir et d'utiliser un facteur d'émission unique vu la grande diversité des situations et les incertitudes qui entourent cette question, il est regrettable qu'elles soient absentes des bases de données usuelles.

---

## ÉVALUATION DES EMISSIONS LIEES AUX DECHETS

Les deux principales sources d'émissions de méthane liées au secteur des déchets sont les émissions ayant pour origine les décharges de déchets solides et les dispositifs de traitement des eaux usées. Pour évaluer ces émissions, CAIT et EDGAR utilisent les facteurs d'émission proposés par l'GIEC mais les sources pour les données d'activité varient : en particulier, EDGAR retient en complément des valeurs de quantité de déchets disponibles dans la littérature pour un certain nombre de pays quand le WRI se contente d'utiliser le modèle GIEC « Solid Waste » quand bien même les valeurs standards de ce modèle, qui reflètent une réalité continentale, ne seraient pas les plus adaptées aux contextes locaux très variés.

---

<sup>10</sup> Frédéric Guérin. Émission de gaz à effet de serre par une retenue de barrage hydroélectrique en zone tropicale (Petit-Saut, Guyane Française) : expérimentation et modélisation. Océan, Atmosphère. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2006.

<sup>11</sup> Räsänen, Timo A., et al. "Greenhouse gas emissions of hydropower in the Mekong River Basin." *Environmental Research Letters* 13.3 (2018): 034030.

<sup>12</sup> Fearnside, Philip M. "Emissions from tropical hydropower and the GIEC." *Environmental Science & Policy* 50 (2015): 225-239.

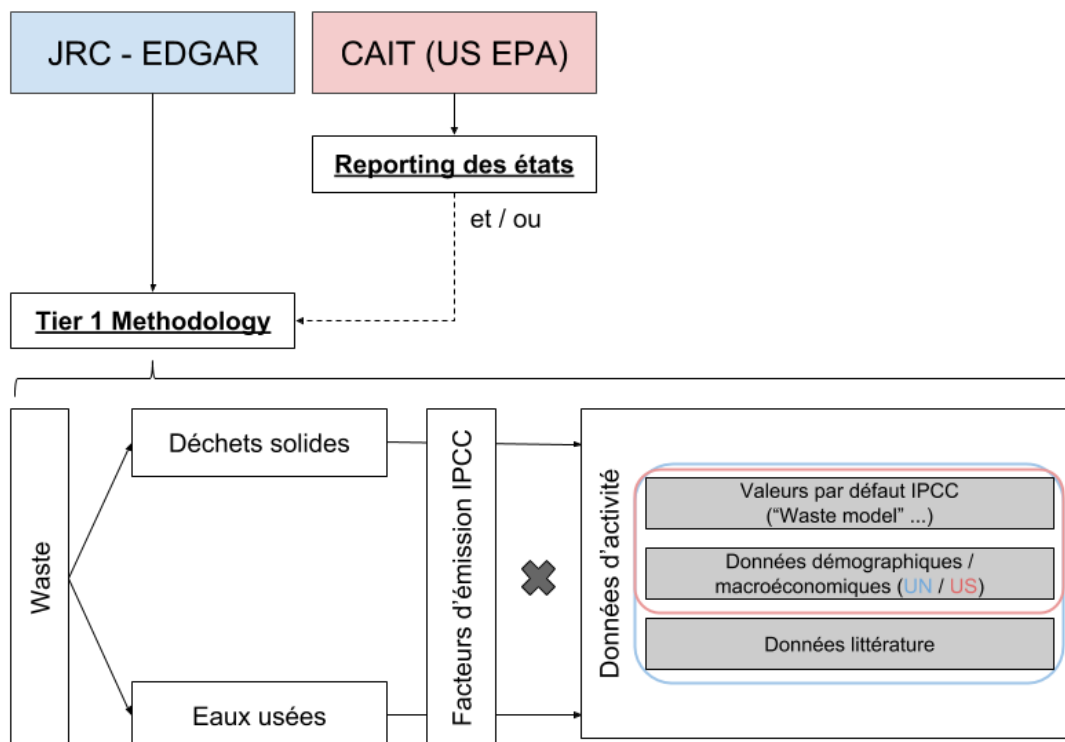


Figure 6 : Comparatif des méthodes d'évaluation des émissions de méthane liées aux déchets

## L'ÉVALUATION DU POUVOIR DE RECHAUFFEMENT GLOBAL (PRG) DU METHANE

Outil de comparaison de l'impact des différents GES par rapport au dioxyde de carbone, le pouvoir de réchauffement global (PRG, en anglais GWP) se définit sur une période donnée comme le rapport entre la contribution au réchauffement climatique d'un gaz à effet de serre et la contribution du dioxyde de carbone<sup>13</sup>.

Dire que le méthane a un PRG de 25 à 100 ans revient donc à dire que, si l'on regarde à 100 ans une tonne de méthane émise aujourd'hui aura le même impact que 25 tonnes de dioxyde de carbone.

## POUVOIR DE RECHAUFFEMENT GLOBAL ET HORIZONS TEMPORELS CONSIDERES

Les concentrations en GES atmosphériques ne constituant pas des outils directement et facilement utilisables pour un décideur public, la communauté scientifique a recours au PRG d'un GES, usuellement utilisé pour un impact à 100 ans, soit l'ordre de grandeur de la durée de vie du dioxyde de carbone dans l'atmosphère<sup>14</sup>. Or, la durée de vie du méthane dans l'atmosphère n'étant que de 12 ans<sup>15</sup>, le PRG de ce gaz décroît rapidement avec le temps. Ainsi une tonne de méthane émise n'aura pas le même « poids » en fonction de l'horizon considéré.

<sup>13</sup> Voir "IPCC Fourth Assessment" (2007) Disponible en ligne à : [https://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10.html](https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10.html)

<sup>14</sup> D'autres métriques existent comme le potentiel de température globale (en anglais GTP) qui se définit à l'année T comme le rapport des forçages radiatifs (i.e. de la capacité d'un gaz à se réchauffer sous l'effet du rayonnement solaire) du méthane et du dioxyde de carbone pour les concentrations de ces gaz résultant d'une émission ponctuelle d'une tonne l'année 0 ; cette métrique, qui ne prend pas en compte comme le PRG la dégradation du méthane en d'autres GES, tend à minimiser l'impact à 100 ans du méthane.

<sup>15</sup> Myhre, Gunnar, et al. "Anthropogenic and natural radiative forcing." *Climate change* 423 (2013): 658-740.

Horizon (années)	0	10	20	40	50	80	100
PRG	120	104	84	57	48	34	28

Tableau 4 : PRG du méthane à différents horizons temporels

Ainsi dans ses calculs le GIEC retenait jusqu'en 2007 un coefficient de 21 à 100 ans, revu à la hausse à 25 au moment du 4<sup>ème</sup> rapport du GIEC pour prendre en compte la réactivité du gaz avec d'autres composants atmosphériques puis à 28 en 2013<sup>16</sup> (84 à 20 ans).

Notons que la prise en compte d'autres facteurs (rétroactions climatiques) aboutit même à des PRG à 100 ans de 34<sup>17</sup> (86 à 20 ans).

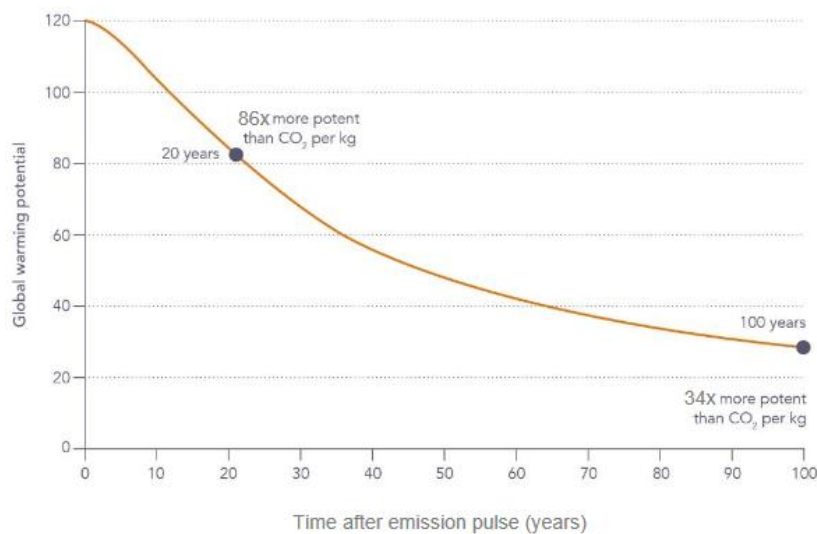


Figure 7 : PRG du méthane à différents horizons temporels (avec prise en compte des rétroactions climatiques)

## L'INFLUENCE A COURT ET MOYEN TERMES DES EFFETS DU METHANE SUR LE CLIMAT TOUJOURS SOUS-ESTIMEE

L'utilisation systématique du PRG à 100 ans conduit ainsi inmanquablement à sous-estimer l'impact d'une tonne de méthane émise aujourd'hui. En effet, si l'on raisonne sur des trajectoires carbonées à l'horizon 2050, c'est-à-dire dans 30 ans, il faudrait se placer entre les colonnes 4 et 5 du tableau 1 et considérer qu'une tonne de méthane a un impact comparable à l'émission d'entre 57 et 84 tonnes de dioxyde de carbone. Ce raisonnement vaut également lorsqu'on se place dans la perspective de l'échéance de 2100 qui est celui de l'accord de Paris. En effet, plus on se rapprochera de l'échéance de 2100, plus il faudra ajuster le bon horizon de temps pour la bonne valeur du PRG. C'est-à-dire pour un projet courant de 2020 (aujourd'hui) à 2040, il faudrait retenir, en toute rigueur, le PRG à 80 ans jusque 60 ans avec la valeur ajustée pour chaque échéance temporelle.

L'enjeu se révèle particulièrement stratégique lorsqu'on s'intéresse à des objectifs de court et moyen terme (niveaux d'émissions à 2030, 2050 ...) ou lorsqu'on tente d'analyser les émissions de pays extracteurs de charbon ou au secteur agricole particulièrement émissif (élevage, riziculture ...).

<sup>16</sup> ibid

<sup>17</sup> ibid



Horizon temporel	20 ans	100 ans
PRG du méthane	58	28
Emissions CH4 Viet Nam (MtCO2eq)	367	123
Part du CO2 / du CH4 (%) dans le bilan	34/61	50/43

Tableau 5 : Impact au Vietnam des émissions de méthane (2012) à différents horizons temporels (données EDGAR v4.3.2 / FAO)

Dans l'exemple ci-dessus, on voit que dans le cadre d'une réflexion à court-terme (rappelons que pour atteindre un monde à 2°C, voire à 1.5°C, il s'agit d'opérer une inflexion la plus rapide possible, d'ici 2030 à 2050) l'utilisation de l'usuel PRG à 100 ans conduit à sous-estimer de près d'un facteur 3 l'impact du méthane émis en 2012 (et on sous-estime donc d'autant l'intérêt de mener une politique de réduction des émissions ; par exemple ici d'inciter financièrement à des pratiques d'irrigation climato-intelligente des rizières comme le drainage incomplet, voir figure). En choisissant de raisonner sur des horizons de temps courts, le méthane devient le premier gaz à effet de serre du pays. L'enjeu de la réduction des émissions de méthane devient donc dans ce cas particulier plus important que celui du dioxyde de carbone.

L'exemple des émissions de gaz à effet de serre du secteur de l'énergie illustre bien la pertinence d'un raisonnement reposant sur un PRG variable ; en fonction du poids accordé au méthane, émis dans des proportions variables lors du cycle de vie de différents combustibles, l'impact sur le climat de l'utilisation du gaz naturel peut être moindre ou pire que celui du charbon.

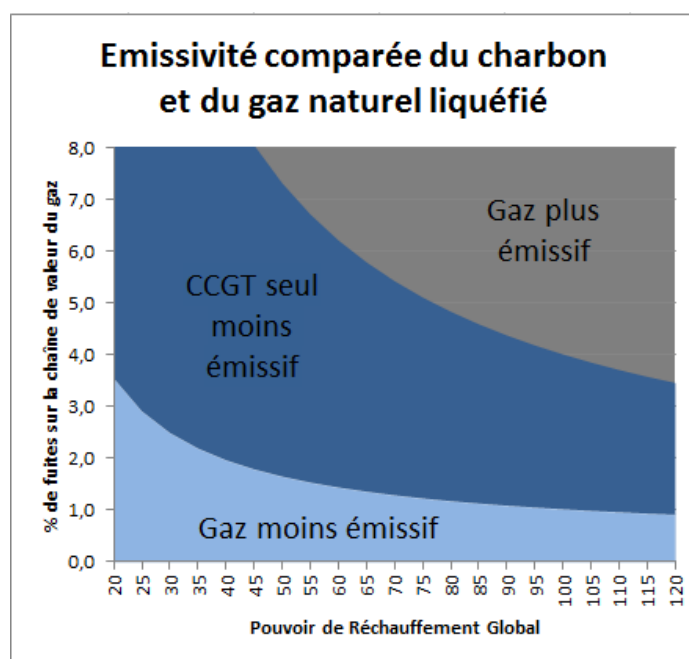


Figure 8 : Pertinence environnementale de la production d'électricité à partir de gaz et de charbon à différents PRG (calculs de l'auteur, d'après IEA, 2017)

On voit sur le graphique ci-dessus que la prise en compte de différents PRG permet de délimiter des espaces technologiques (c'est-à-dire des domaines de pourcentage de fuite de GES) où le gaz peut avoir un impact plus important que le charbon.

### L'enjeu des fuites de gaz naturel

L'estimation de la quantité de gaz fuitant le long de la chaîne est l'objet de vifs débats dans la communauté scientifique. Un récent article (Alvarez, 2018) de l'Environmental Defense Fund est venu appuyer l'idée que le taux de fuite avancé par le ministère américain de l'environnement (sous les 2%) était largement sous-estimé, d'au moins un facteur 2 (Miller, 2013)

Cette estimation est à l'heure actuelle la plus aboutie sur la question. Pourtant, il lui est reproché de trop dépendre d'extrapolations et de ne pas prendre en compte les fuites dans le réseau urbain. Sur cette base, Robert Howarth de l'Université Cornell les évaluait dès 2015 autour de 5.4% ( $\pm 1.8\%$ ) dont au moins la moitié sur la seule partie upstream.

Figure 9 : Focus sur les fuites de gaz d'après Alvarez et al., 2018<sup>18</sup> et Howarth et al., 2015<sup>19</sup>

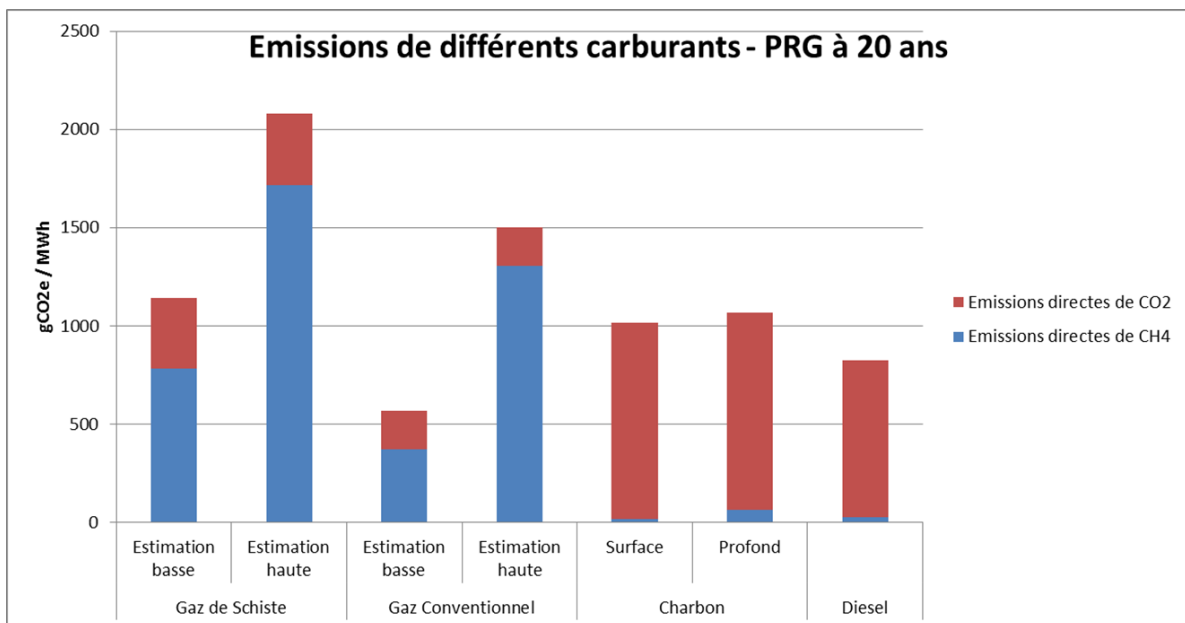


Figure 10 : Impacts (PRG à 20 ans) l'utilisation de différents combustibles fossiles pour la production d'électricité

### PRG ET BASES DE DONNEES D'EMISSIONS

Les bases de données existantes déjà évoquées plus haut présentent soit les émissions brutes de méthane soit leurs équivalents en dioxyde de carbone mais avec un PRG fixe (avec un impact à 100 ans). Il est possible de reconstituer une base de données complète sur les émissions de GES avec un PRG maîtrisé en reprenant les données issues d'EDGAR<sup>20</sup> et la base de données sur les émissions agricoles et liées à l'usage des sols (LUCF). Cette base détaille les émissions par gaz et par sous-secteur GIEC.

<sup>18</sup> Alvarez et al., « Assessment of methane emissions from the U.S. oil and gas supply chain » (2018) disponible en ligne à : <http://science.sciencemag.org/content/early/2018/06/20/science.aar7204>

<sup>19</sup> Howarth, Robert W. "Methane emissions and climatic warming risk from hydraulic fracturing and shale gas development: implications for policy." *Energy and Emission Control Technologies* 3 (2015): 45-54.

<sup>20</sup> Nous choisissons de retenir la base de données du JRC pour au moins trois raisons : EDGAR est constituée d'émissions calculées selon une méthodologie Tier 1 unique alors que pour un certain nombres de pays CAIT

Ville	Description	Codes IPCC	Gaz	Sources
Energie	Construction, Biens manufacturés, Extraction et transport de combustibles fossiles, émissions fugitives ...	1 sauf Electricité et transport	CO2, CH4, N2O	IEA
Electricité	Centrales thermiques, autoproduction	1A1a, 1A	CO2	IEA
Transport	Transport	1A3	CO2	IEA
Industrie	Ciment, industrie chimique ...	2	CO2, CH4, N2O	IEA
Agriculture	Fermentation entérique, gestion du fumier, riziculture, sols agricoles ...	4	CO2, CH4, N2O	FAO
LUCF	Forêt, champs, prairies, brûlis	5	CO2, CH4, N2O	FAO
Déchets	Déchets solides, décharges, traitement des eaux usées, égouts ...	6	CO2, CH4, N2O	IEA

Tableau 6 : Construction des secteurs GIEC

Un tel dispositif nous permet de produire des graphes d'émissions historiques complets pour chaque pays entre 1990 et 2012 et partiels entre 1970 et 2015. Ils permettent de mettre en évidence la sensibilité des bilans carbone à la question du méthane en travaillant sur les différents PRG au regard des ambitions que les états ont exprimé dans leurs INDC respectives. On peut de la même manière revoir le poids respectifs de chaque secteur à différents horizons temporels, ce qui a tendance à souligner l'importance, en particulier à court-terme, de l'atténuation des émissions de méthane dans l'agriculture, l'énergie et les déchets (là où le secteur de l'énergie focalise l'attention lorsqu'on s'intéresse au dioxyde de carbone seul)

#### PRG, PROGRAMMES DE REDUCTION PERENNES DES EMISSIONS

La définition même du PRG n'est enfin pas nécessairement adaptée pour rendre compte de l'intérêt de mesures pérennes de réduction des émissions de méthane. La plupart des projets financés par l'Agence (installation d'une unité renouvelable en remplacement d'une centrale à charbon) ont bien souvent une durée de vie importante et sont voués à être renouvelés en fin de vie. Il s'agit donc d'évaluer l'effet d'une mesure sur le climat à un horizon donné à partir du cumul des émissions annuelles évitées, le PRG rendant plutôt compte de l'effet d'une émission ponctuelle à un moment donné (« pulse »).

B.Dessus et B.Laponche soulignaient déjà ce point en 2008<sup>21</sup> ; nous reproduisons ci-dessous leur comparaison de l'effet sur le climat en terme de forçage radiatif cumulé de deux scénarios de réduction pérenne des émissions (à l'époque sur la base d'un PRG à 100 ans de 21) :

repose sur le reporting des états ; par ailleurs, nous estimons les facteurs d'émissions utilisés par EDGAR plus fiables vis-à-vis des données de la littérature (sur lesquels le JRC se base plutôt que sur des coefficients standards souvent inappropriés vu les réalités de terrain) ; enfin, les données d'activité retenues par le JRC sont issues des bases de données des Nations Unies (ce qui est cohérent vis-à-vis du croisement que nous opérons avec la BDD de la FAO) tandis que le WRI utilise des données statistiques états-uniennes.

<sup>21</sup> « Réduire le méthane : l'autre défi du changement climatique » (Août 2008) B.Dessus, B.Laponche

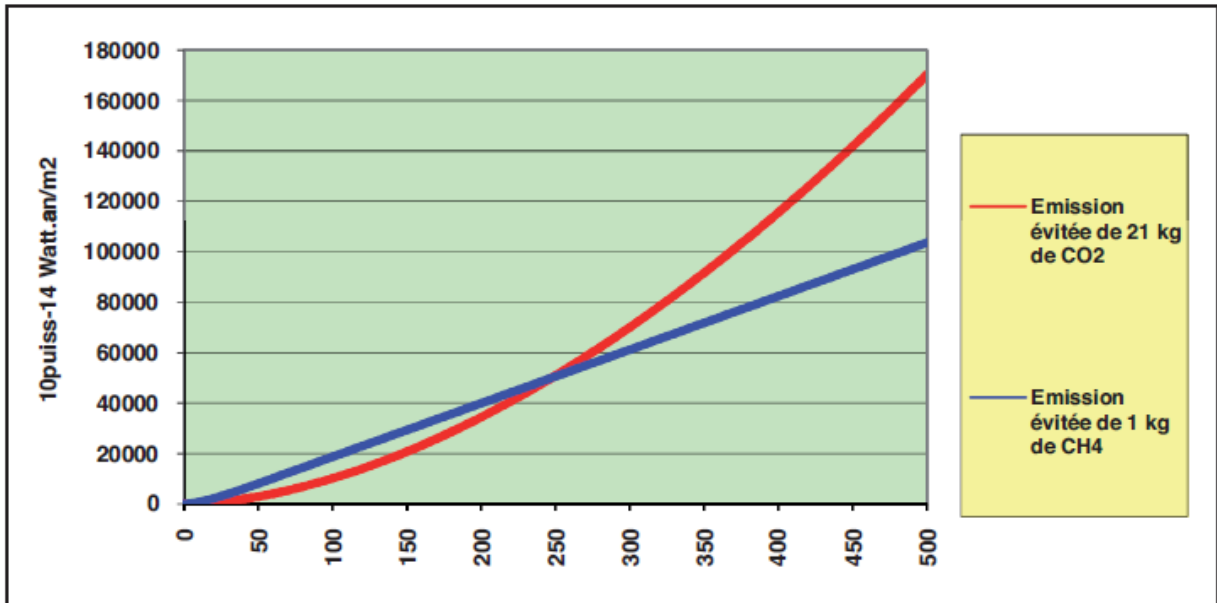


Figure 11. Forçage radiatif cumulé d'une émission évitée d'1 kg de méthane ou de 21kg de dioxyde de carbone par an (pérenne) à partir de l'année 0

En réalité la durée à partir duquel l'évitement pérenne de l'émission régulière d'une quantité de méthane donnée devient moins intéressant que l'évitement d'une quantité équivalente de dioxyde de carbone dépasse très largement les horizons de temps sur lesquels nous raisonnons : l'impact d'une réduction pérenne des émissions de méthane sur le court et moyen-terme est donc systématiquement sous-estimé.

Or, les récents travaux en la matière, dont le GIEC fait une synthèse dans son dernier rapport<sup>22</sup> témoignent tous de la nécessité d'infléchir les émissions de GES d'ici 2030 ; l'atténuation du méthane constitue donc un levier d'action majeur de l'action contre le réchauffement climatique.

<sup>22</sup> GIEC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global warming of 1.5°C. An GIEC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty

## ETAT DES LIEUX DES EMISSIONS MONDIALES, POTENTIELS DE REDUCTION ET MARGES DE MANŒUVRE

### BILANS ET BUDGETS METHANE : LE CONSTAT D'UNE CROISSANCE GLOBALE DES EMISSIONS

Les développements scientifiques récents et la création des bases de données exhaustives sur les émissions de GES ont permis d'établir des bilans et des budgets tels que celui du Global Carbon Project :

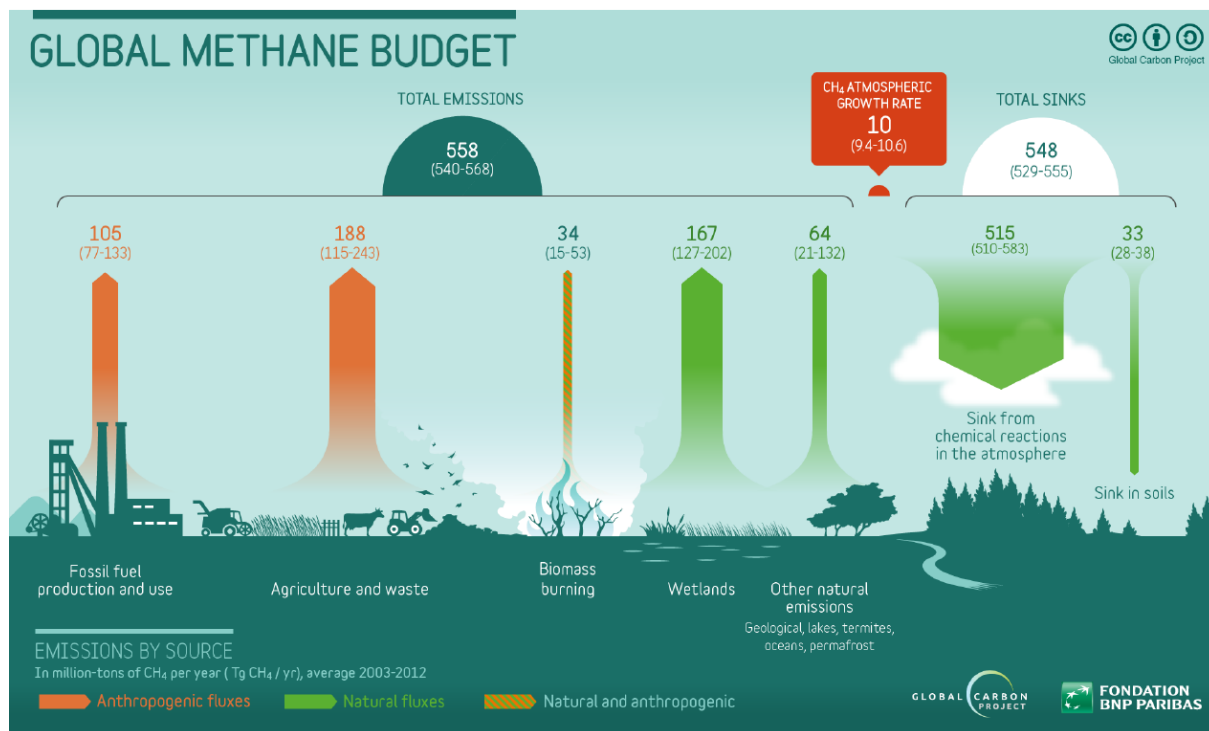


Figure 12 : Budget Méthane du Global Carbon Project (2003-2012)

### APPROCHES TOP-DOWN ET BOTTOM-UP

Pour évaluer les émissions de méthane, on distingue deux approches : une approche bottom-up reposant sur les inventaires des états et des données empiriques (mesures, par exemple des fuites de gaz d'une unité de production) et une approche top-down qui complète la première avec des modèles atmosphériques dits « d'inversion » ou des observations satellites (la difficulté étant souvent d'attribuer correctement une émission à sa source).

En croisant ces approches, on parvient à obtenir des bilans d'émissions par source qui permettent de cerner les secteurs émetteurs (agriculture, énergie, déchets).

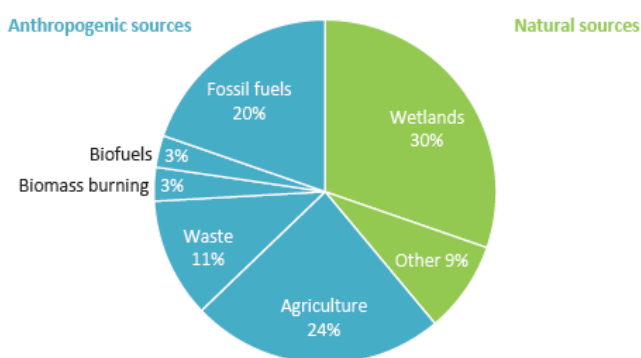


Figure 13 : Sources d'émissions de méthane (IEA 2017, d'après Sauniois et al. 2016) - Total : 570 Mt CH<sub>4</sub>

## CONSTAT ET CONSEQUENCES D'UNE CONCENTRATION ACCRUE EN METHANE ATMOSPHERIQUE

Alors que la tendance pour l'évolution du dioxyde de carbone et du protoxyde d'azote est plutôt à la stagnation (ou à la faible augmentation), les émissions de méthane sont en nette augmentation (+1% par an environ depuis 2005), ce qui conduit à une concentration atmosphérique accrue (1840 ppb en 2015)<sup>23</sup> comme en témoigne la figure ci-contre.

L'origine de ce regain (après une période de relative stagnation autour des années 2000) ne fait pas l'objet d'un consensus dans la communauté scientifique mais semble être la résultante de plusieurs facteurs dont :

- Une augmentation des émissions liées à l'exploitation et à la combustion de ressources fossiles.<sup>24</sup>
- Une augmentation des émissions d'origine biogénique (et même vraisemblablement agricole)<sup>25</sup>
- La relative constance de la concentration atmosphérique en radicaux OH, composés responsables de la dégradation du méthane de l'air.<sup>26</sup>

Au total, émissions et concentrations de méthane (en noir ci-dessus) semblent suivre la trajectoire RCP 8.5 (en rouge) ce qui est d'autant plus inquiétant qu'un récent article<sup>27</sup> est venu attester de l'accroissement des flux de méthane en provenance des sols sous l'effet du réchauffement global lui-même, ce qui laisse craindre une accélération du phénomène. Il existe en outre un certain nombre d'effets de seuil (fonte du permafrost sous lequel d'importantes nappes d'hydrates de méthane sont nichées) susceptibles de déclencher des émissions en cascade dangereuses.

L'urgence de la situation est donc un argument supplémentaire qui vient appuyer la pertinence et l'efficacité d'une approche de réduction plus soutenue des émissions de méthane dans les politiques d'atténuation des émissions de GES.

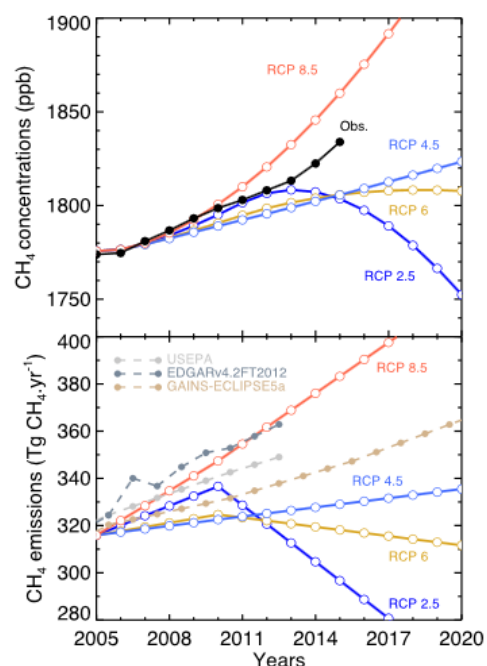


Figure 14 : Trajectoires et émissions actuelles

<sup>23</sup> Saunois, M., et al. "The growing role of methane in anthropogenic climate change." *Environmental Research Letters* 11.12 (2016): 120207.

<sup>24</sup> Hausmann, Petra, Ralf Sussmann, and Dan Smale. "Contribution of oil and natural gas production to renewed increase in atmospheric methane (2007–2014): top-down estimate from ethane and methane column observations." *Atmospheric Chemistry and Physics* 16.5 (2016): 3227-3244.

<sup>25</sup> Schaefer, Hinrich, et al. "A 21st-century shift from fossil-fuel to biogenic methane emissions indicated by CH<sub>4</sub>." *Science* 352.6281 (2016): 80-84.

<sup>26</sup> Dalsøren, Stig B., et al. "Atmospheric methane evolution the last 40 years." *Atmospheric Chemistry and Physics* 16.5 (2016): 3099-3126.

<sup>27</sup> Crowther, Thomas W., et al. "Quantifying global soil carbon losses in response to warming." *Nature* 540.7631 (2016): 104.

## ACTION ANTHROPIQUE : SECTEURS EMETTEURS ET OPPORTUNITES D'ACTION

L'étude sectorielle des émissions permet une analyse fine des origines des émissions anthropiques et l'identification d'opportunité de mener des programmes pertinents du point de vue climatique et économique. En particulier, on constate que nombre de projets peu coûteux sont susceptibles d'avoir un impact significatif.

Ce constat est particulièrement vrai pour le méthane, identifié comme le gaz à effet de serre non-dioxyde de carbone qui offre le plus d'opportunités d'atténuation<sup>28</sup>.

On se propose de passer en revue les différents secteurs émetteurs (voir figure) et les opportunités qu'ils offrent de réduire les émissions de méthane.

### LA REDUCTION DES EMISSIONS D'ORIGINE AGRICOLE

Le méthane d'origine agricole provient essentiellement de 2 sources<sup>29</sup> dont le poids respectif est détaillé dans le tableau ci-dessous. Il contribue également largement aux émissions de déchets organiques :

- L'élevage via les processus de fermentation entérique (digestion des ruminants) et d'épandage du lisier constitue la partie la plus importante des émissions agricoles.
- L'inondation des rizières favorise le développement de bactéries méthanogènes en conditions anaérobies.

Émissions de GES (2009-2013) / an	MtonCH <sub>4</sub>	MtonCO <sub>2</sub> eq (PRG = 28)	MtonCO <sub>2</sub> eq (PRG = 84)
Élevage	[98-108]	[2 793-3 078]	[8 232-9 072]
Riziculture	[33-40]	[940-1 140]	[2 272-3 360]

Tableau 7 : Émissions mondiales annuelles de méthane agricole (d'après Kirschke et al, 2013<sup>30</sup>) et équivalents à 2 horizons différents.

Quelle que soit la production envisagée, il semble que l'intensification conduise partout à une diminution de l'intensité des émissions de GES (c'est-à-dire au regard des quantités produites, voir figure ci-dessous) et c'est en particulier vrai en ce qui concerne le méthane provenant des deux sources évoquées plus haut. Si la formulation d'un tel constat fait sens dans l'élaboration de trajectoires bas-carbone, elle a toutefois ses limites et ne saurait servir de justification à la promotion et à la diffusion de normes techniques inadaptées aux contextes et objectifs locaux. Il ne s'agit ainsi pas ici de nuire aux filières de qualité ayant par ailleurs bien souvent des bénéfices sanitaires, sociaux et environnementaux remarquables mais d'identifier les opportunités d'atténuation envisageables dans un contexte politique donné incluant notamment dans certains pays des objectifs de sécurité alimentaire et des objectifs économiques.

<sup>28</sup> US EPA "Global Mitigation of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: 2010–2030" (2013). Les coefficients retenus par l'EPA sont les suivants, sur la base d'un PRG à 100 ans : Méthane (CH<sub>4</sub>) : 21 ; NO<sub>2</sub> : 310 ; HFC : 140 - 11 700 ; SF<sub>6</sub> : 23 900.

<sup>29</sup> Saunois, Marielle, et al. "The global methane budget 2000-2012." *Earth System Science Data* 8.2 (2016): 705.

<sup>30</sup> Kirschke, Stefanie, et al. "Three decades of global methane sources and sinks." *Nature geoscience* 6.10 (2013)

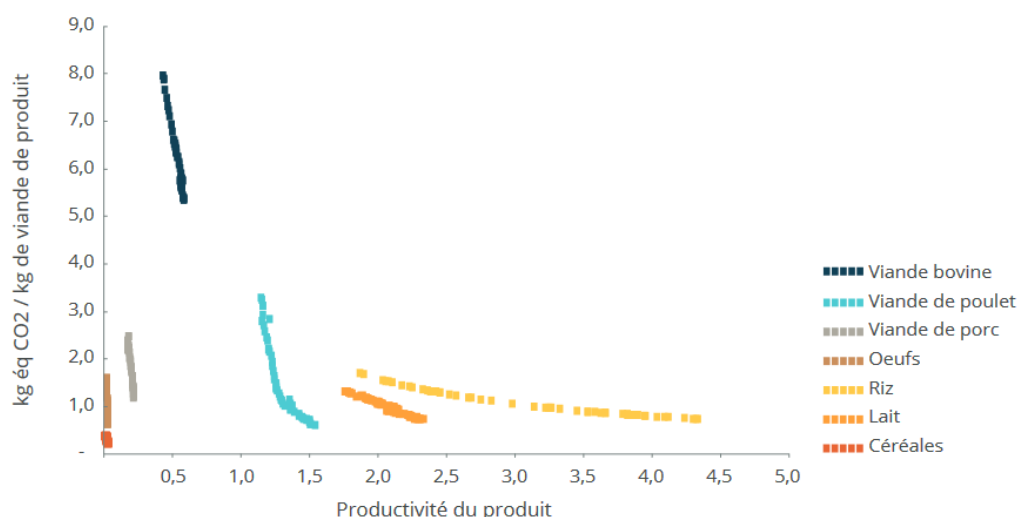


Figure 15 : Intensité des GES et productivité de quelques denrées de base (1961-2010, FAO)

## DIMINUER L'INTENSITE METHANE DE LA RIZICULTURE

Rappelons en premier lieu que la diversité des contextes (agronomiques, mais aussi sociaux et économiques) entre en contradiction avec la production de normes techniques univoques. Toutefois, des pistes existent pour rendre la riziculture moins émettrice de méthane par quantité de riz produite.

Pour l'US EPA, près d'un tiers des émissions de GES liées à la riziculture pourraient être évitées à bas coûts. En ce qui concerne le méthane rizicole, les mesures possibles concernent principalement l'irrigation.

### Pratiques agronomiques atténuant les émissions de méthane

Drainage à mi saison (MD)	La rizière est inondée dès la plantation et drainée 10 jours avant la récolte – possible à la fois dans les rizières irriguées et en culture pluviale
Inondation alternée (AWD)	La rizière est initialement inondée (10cm) puis le niveau d'eau est réduit progressivement (-0.5 cm par jour jusque 5 cm) puis ré-inondé progressivement (+0.5 cm par jour jusque 10 cm) – uniquement possible dans les rizières irriguées
Export des résidus	50% des résidus de culture sont enlevés, le reste est incorporé au prochain labour

Tableau 8 : Pratiques rizicoles & atténuation des émissions de méthane (d'après EPA, 2012)

Le drainage (voir « MD » dans les figures 7 et 8) et surtout le passage à de l'irrigation alternée (voir « AWD » dans les figures 7 et 8) associés à l'export partiel ou total des pailles donnent ainsi des résultats intéressants<sup>31 32</sup>, en particulier dans le cadre de la mise en place de systèmes rizicoles intensifs. L'association de ces pratiques offre un potentiel d'atténuation considérable puisqu'elle réduit les émissions de méthane par tonne de riz produite de 22 à 64 %<sup>33</sup> tout en ayant d'autres intérêts agronomiques (économies d'eau, rendement et qualité du grain accrus ...).

<sup>31</sup> Chu, Guang, et al. "Alternate wetting and moderate drying increases rice yield and reduces methane emission in paddy field with wheat straw residue incorporation." *Food and Energy Security* 4.3 (2015): 238-254.

<sup>32</sup> Wassmann, R., "Characterization of methane emissions from rice fields in Asia. III. Mitigation options and future research needs." *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 58.1-3 (2000): 23-36.

<sup>33</sup> Pour une synthèse de l'université Cornell, voir « SRI and climate mitigation » disponible à : [http://sri.ciifad.cornell.edu/index\\_files/ClimateChangeMitigation.pdf](http://sri.ciifad.cornell.edu/index_files/ClimateChangeMitigation.pdf) et références associées.



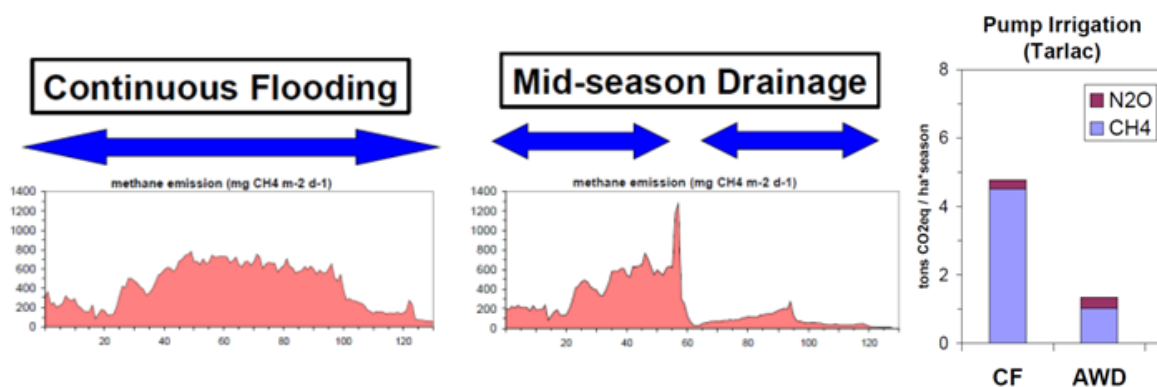


Figure 16 : Impact de différentes pratiques d'irrigation sur les émissions de méthane (d'après Wassmann, 2000)

Les retours d'expériences sur des projets d'amélioration de la riziculture d'envergures et d'ambitions diverses financés par l'AFD (voir tableau 10) semblent aller dans le sens d'une confirmation du potentiel d'atténuation de ces pratiques dont le développement est porté par ailleurs par des organismes comme l'Institut international pour la recherche sur le riz (IRRI). Ce dernier travaille en effet dans le cadre d'une initiative de la Coalition pour le climat (CCAC) pour implémenter la technologie de l'IRRIGATION ALTERNÉE à une large échelle au Vietnam et au Bangladesh, deux pays avec un très haut potentiel d'atténuation (près d'1 Mt CH<sub>4</sub>/ an). La première phase du processus consistait à produire de l'analyse et des données (géographiques, biophysiques, socio-économiques) et de réunir les acteurs de la filière au cours d'ateliers tenus dans les pays. Celle-ci a rencontré un certain succès puisqu'une grande partie des acteurs ont reconnu les vertus de l'irrigation alternée à la fois sur le climat et sur d'autres paramètres : meilleur développement de l'appareil racinaire, meilleure résistance des plantes, parasites réduits et diminution de l'usage des phytosanitaires associés... tout en soulignant les éventuelles contraintes et menaces qu'elle peut représenter : nécessité de choisir des variétés de riz plus appropriées, légère augmentation des émissions de protoxyde d'azote, possibles problèmes de mauvaises herbes, apport en eau incertain.

	Pratiques rizicoles implémentées	Surface (ha)	Émissions (tCO <sub>2</sub> eq/ha/an)
Cambodge	MD / AWD / Export des pailles 50%	11 600	-2.9
Myanmar	MD / AWD / Export des pailles	15 670	-4.0
Chine	Export des pailles	35	-9.7
Sénégal	AWD / Export des pailles	800	-6.3
Madagascar	MD / Export des pailles	14 000	-0.8

Tableau 9 : Résultats de différents projets soutenus par l'AFD et incluant entre autres des modifications des pratiques d'irrigation (d'après documentation interne)

Ces résultats sont toutefois à prendre avec précaution : vu la nature diverse des pratiques, le manque d'études ex-post, les incertitudes de terrain et la grande hétérogénéité des réponses du riz à ces méthodes entre régions productrices (en fonction desquelles, par ailleurs, la pertinence des pratiques agronomiques évoquées plus haut varie), il est difficile de tirer des conclusions générales sur l'impact exact à grande échelle de telle ou telle pratique.

Il faut noter qu'on parle souvent d'« AWD+ » pour signifier que l'irrigation alternée n'est souvent qu'une technologie insérée au sein de systèmes rizicoles intensifs plus complexes qui intègrent des pratiques multiples (voir plus bas). Promouvoir ce type de systèmes intensifs aux rendements accrus par rapport à la riziculture conventionnelle plutôt que l'irrigation alternée seule (qui, en l'absence de valorisation du méthane représente une perte de productivité du travail vu le coût qu'elle représente en capital humain) peut donc constituer une réponse climato-intelligente aux ambitions des états en termes de sécurité alimentaire.

Quoiqu'il en soit l'atténuation des émissions rizicoles passera par la mise en œuvre à grande échelle des pratiques agricoles telles que l'irrigation alternée, via le développement de systèmes d'information pour les décideurs publics et la mise en place de politiques publiques volontaristes (campagnes / plateformes d'information, directives agricoles, ...) et ciblées, à diverses échelles. Les ateliers de l'IRRI ont à ce titre permis d'identifier et de mettre en lumière le rôle d'influenceurs que jouait certains acteurs auprès des parties prenantes et donc des cibles éventuelles pour ce type de mesures.

En outre, la mise en place d'irrigation alternée n'est pas possible dans toutes les régions : une partie du travail d'une initiative comme celle du CCAC / IRRI consiste donc à produire des données géographiques (SIG) pour appuyer la prise de décision. Des cartes ont ainsi été produites dans des pays comme les Philippines, le Vietnam ou le Bangladesh pour indiquer dans quelles régions la production en irrigation alternée est la plus adaptée.

Une autre technique consiste à raisonner les apports de matière organique en travaillant sur l'export des résidus de cultures (pailles ...) ce qui a pour intérêt de modifier le substrat sur lequel se développent les bactéries. Par rapport à une situation de référence classique où elles sont incorporées dans le mois qui précède la mise en culture, l'export des pailles permet de réduire d'un facteur trois la quantité de méthane émise par hectare et par cycle de culture.

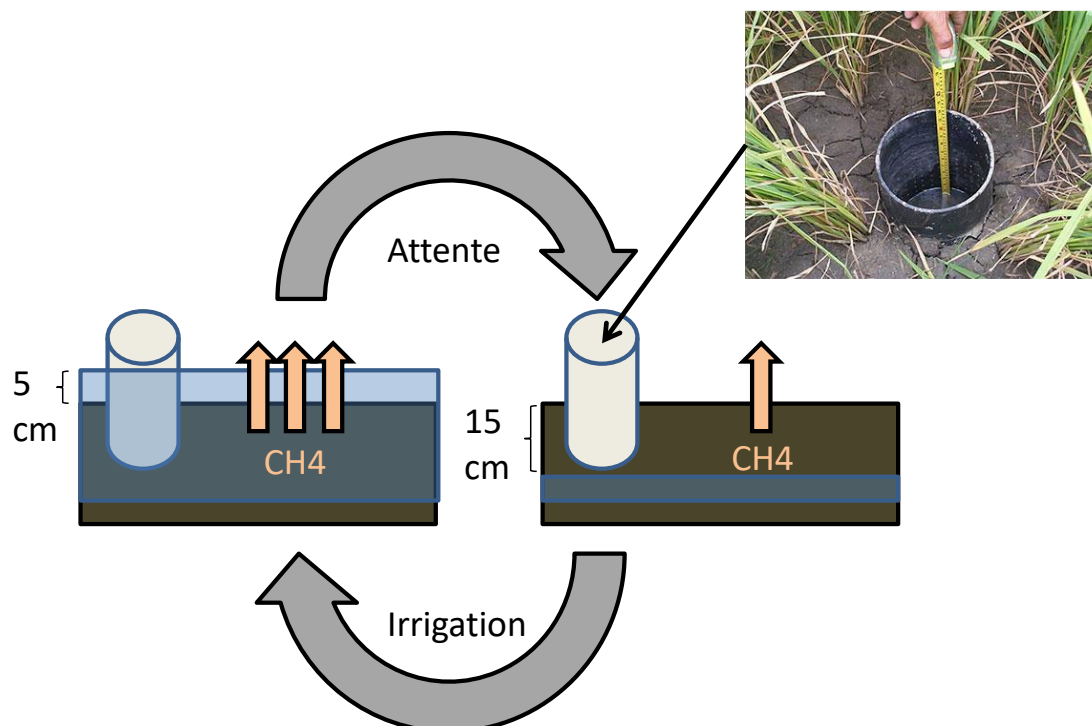
L'intensification de la production rizicole, notamment par les pratiques évoquées ci-dessus, est souvent avancée comme une solution pour inscrire le secteur agricole d'un pays dans une trajectoire bas-carbone compatible avec ses objectifs de sécurité alimentaire. Dans certains pays d'Asie du Sud Est (Thaïlande, Viet Nam ou encore Cambodge où les exports de riz ont été multipliés par 7 en moins de dix ans grâce à l'introduction de pratiques intensives), la ferme « typique » a déjà beaucoup avancé sur ces questions mais les opportunités d'intensifier sont encore nombreuses dans des pays comme la Birmanie et dans une moindre mesure le Laos. Ainsi, la pratique des systèmes rizicoles intensifs (décrite plus bas, qui inclut souvent l'irrigation alternée mais également un ensemble d'autres techniques) dont la diffusion auprès des riziculteurs a été portée par la Banque Mondiale après sa théorisation dans les années 2000, concerne aujourd'hui des millions d'agriculteurs : son adoption est en particulier documentée en Afrique de l'Ouest et dans le Tamil Nadu, en Inde, mais aussi en Asie du Sud-Ouest où elle a permis une hausse considérable des rendements. Si cela s'est fait au prix d'une hausse du travail, les retours du terrain indiquent d'une part que la mécanisation a facilité les choses et de l'autre que les bénéfices obtenus (hausse des rendements et des revenus agricoles) permettent souvent aux agriculteurs, très en demande de ces technologies, d'embaucher.<sup>34</sup>

---

<sup>34</sup> Voir la présentation de la Banque Mondiale et de l'IRRI « *AWD : principles, bottlenecks and on-going research for large scale implementation* » disponible à <http://climatechange.irri.org/projects/mitigation/mitigation-options-to-reduce-methane-emissions-in-paddy-rice>

### Intérêt de l'« Alternate Wetting and Drying » (irrigation alternée) en agriculture climato-intelligente

L'AWD consiste en une irrigation intermittente et contrôlée des rizières, en particulier lorsque la riziculture est pratiquée en saison sèche (lorsque la quantité d'eau évapotranspirée ou écoulee excède les précipitations) : il s'agit pour l'agriculteur de laisser la rizière s'assécher (drying) jusqu'à un certain point en vérifiant la présence d'eau dans le sol via un tube de bambou ou de PVC enterré et perforé dans sa moitié inférieure avant la période d'inondation (flooding).



Notons qu'en plus d'atténuer la quantité de polluants (cadmium, arsenic) accumulés dans les grains de riz, l'irrigation alternée maintient voire accroît dans certains cas les rendements et augmente la productivité en eau. Par ailleurs, si elle laisse l'occasion à des adventices de pousser cette pratique a tendance à réduire la présence de nuisibles et des maladies associées à l'humidité (champignons notamment).

Pendant la période asséchée, le sol fonctionne en conditions aérobies et le métabolisme des bactéries méthanogènes est temporairement stoppé (et ne reprend qu'après quelques jours d'inondation continue) ce qui réduit considérablement les émissions de méthane. Même si sous certaines conditions de fertilisation l'irrigation alternée génère des pics d'émissions de protoxyde d'azote le bilan en termes d'atténuation des émissions est très significativement favorable.

Figure 17. Focus agronomique sur l'irrigation alternée (d'après Richards<sup>35</sup>, 2014)

<sup>35</sup> Richards, M., Sander, B.O., 2014. Alternate wetting and drying in irrigated rice. Implementation guidance for policymakers and investors. Disponible à : <https://cgspace.cgiar.org/rest/bitstreams/34363/retrieve>

## Le système de riziculture intensive (SRI) : de l'agriculture climato-intelligente

La technique du Système de Riziculture Intensive (SRI) vise l'augmentation significative des rendements avec les mêmes semences et mêmes amendements sans pour autant réaliser de lourds investissements matériels et monétaires.

« La technique est basée sur 4 principes par rapport aux pratiques traditionnelles :

1. Un semis clair (300 à 600 g par 10 m<sup>2</sup>) recommandé sur pépinière sèche (par opposition aux pépinières irriguées pratiquées sur une portion de rizière avec semis en boue).
2. Un repiquage en carré de plants très jeunes (entre 8 et 15 jours), brin par brin, très espacés (de 25\*25 cm à 40\*40 cm). Ce repiquage doit se faire dans une boue fine et épaisse, suite à un planage méticuleux.
3. Un sarclage précoce (extirper les végétaux nuisibles et ameublir la surface du sol 10-15 j après le repiquage et répété de 2 à 4 fois à la houe rotative) permettant le contrôle des adventices et une oxygénation des racines.
4. Une gestion méticuleuse de la lame d'eau par des assecs fréquents (irrigation alternée) du repiquage à la montaison, le maintien de 5 à 10 cm d'eau à partir de la floraison et un assèchement complet de la rizière dès la courbure des épis.

*La méthode nécessite du travail supplémentaire pour les opérations de sarclage et le suivi de l'irrigation. Il s'agit donc avant tout d'une intensification par le travail. Une bonne maîtrise de la lame d'eau est nécessaire à l'application de cette technique. »*

Les études ont montré que les SRI ont de meilleurs bilans méthane que les rizières traditionnelles (SRT) et améliorées (SRA) ; par ailleurs, ces systèmes ont un effet « puits de carbone » grâce à une augmentation considérable de la biomasse racinaire du riz cultivé.

Il faut noter que la mise en place du SRI se heurte aux spécificités de l'environnement local et aux conditions socio-économiques des populations concernées : c'est une pratique qui nécessite un important capital humain pour opérer une maîtrise fine de la lame d'eau.

Figure 18 : Focus agronomique sur la pratique du SRI (d'après CIRAD<sup>36</sup> et documentation interne AFD)

Le SRI décrit plus haut est donc une méthode composite, climato-intelligente avec un triple bénéfice (en termes de productivité, d'adaptation à l'environnement lorsque les pratiques sont optimisées au niveau local et d'atténuation des émissions).

Mener une réflexion sur les coûts et les bénéfices climatiques de la riziculture est quoiqu'il en soit une tâche délicate : la culture du riz est une pierre angulaire de la sécurité alimentaire dans des régions qui de toute façon ne permettent pas vraiment d'accueillir d'autres types de culture (rappelons ici que cette pratique intervient dans des zones humides déjà naturellement émettrices mais non comptabilisées dans les inventaires pays). Elle offre par ailleurs tout un ensemble de co-bénéfices sur le climat, la riziculture irriguée fournissant des masses d'eau susceptibles de rafraîchir l'air ambiant et les aménagements associés constituent des protections

---

<sup>36</sup> CIRAD / AFD : « Innovation technique et réduction de la pauvreté à Madagascar: débat revisité sur la pertinence du système de riziculture intensive » (2008), disponible à : [https://agritrop.cirad.fr/559222/1/document\\_559222.pdf](https://agritrop.cirad.fr/559222/1/document_559222.pdf)

bienvenues lors d'événements climatiques violents. La présence, même temporaire, de lames d'eau permet également (dans certains cas marginaux) aux habitants de bénéficier d'un complément de protéines via, par exemple, la pisciculture associée.

Au-delà de la dimension technique, on ne peut donc faire l'économie d'une réflexion qui dépasse l'échelle de la parcelle : la gestion de l'eau d'irrigation fait l'objet d'une action collective où les potentiels acteurs du changement s'insèrent dans des filières variées aux usages divers (y compris parfois déjà vertueux du point de vue du climat).

#### ATTENUER LES EMISSIONS LIEES A L'ELEVAGE

Sur la base d'un PRG à 100 ans de 21, l'US EPA estime à 85 millions de tonnes équivalents de CO<sub>2</sub> la quantité de GES abattables à peu de frais. Outre la réduction de la consommation de viande qui diminuerait mécaniquement la taille des cheptels et donc la quantité de méthane émis, les opportunités identifiées concernent en particulier l'alimentation du cheptel ainsi que la gestion du lisier (digesteurs / méthaniseurs couverts ...)

Concernant l'atténuation émissions liées à la fermentation entérique (dans la panse des vaches), plusieurs pistes sont ainsi avancées, leur efficacité étant mesurée par le rapport entre la quantité de méthane émise et l'énergie contenue dans un kg de lait produit (ECM, voir figure 13). Ces techniques « classiques » (manipulation de la flore ruminale, via le contenu en fibre du bol alimentaire, de la productivité des animaux via la sélection génétique ...) viennent apporter une réponse agronomique et technique qui n'est que partielle : elles complètent une approche basée sur l'incitation à une moindre consommation de viande dans les pays où il y a surconsommation.

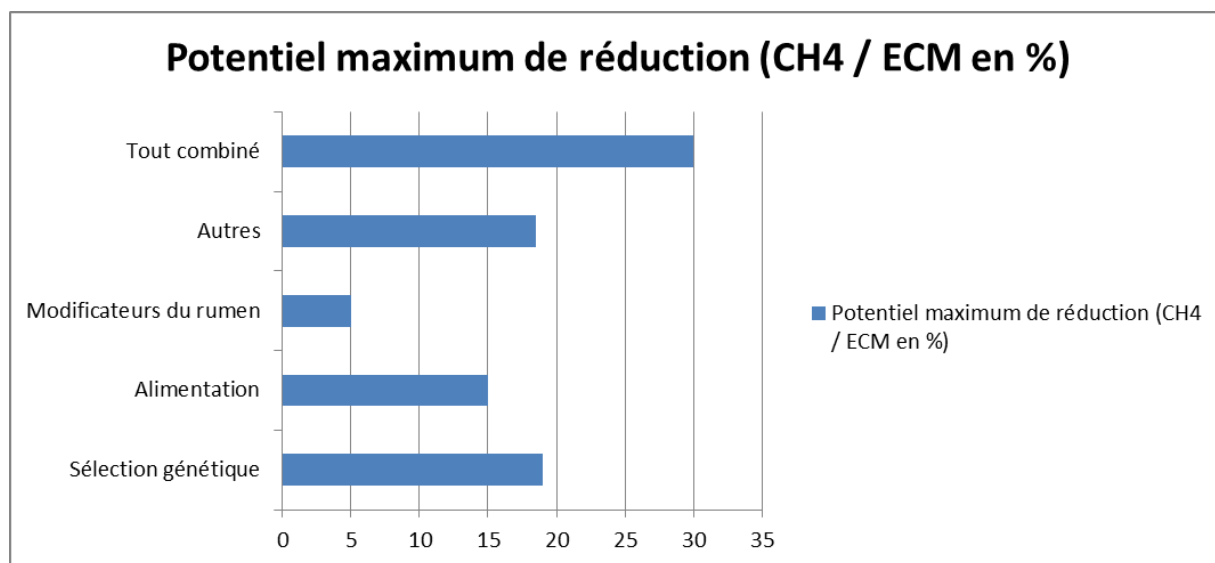


Figure 19 : Efficacité des différentes approches d'atténuation des émissions de méthane (d'après Bellarby<sup>37</sup>, 2013 )

On distingue principalement trois types de leviers technologiques permettant l'atténuation des émissions de méthane liées à la fermentation entérique (via une action ciblant différents paramètres détaillés figure 20) :

<sup>37</sup> Bellarby, Jessica, et al. "Livestock greenhouse gas emissions and mitigation potential in Europe." *Global change biology* 19.1 (2013): 3-18. (Une étude menée en Europe)

- L'amélioration des performances des animaux via la sélection génétique et l'amélioration des conditions sanitaires des animaux conduit à une réduction de l'âge à la première mise bas et du sevrage, ce qui permet de réduire la part des émissions « improductives » de méthane.
- Le travail sur les pratiques d'alimentation (digestibilité de la ration, contenu en protéines, apports en graisses ...)
- La gestion des troupeaux et notamment la maîtrise et la réduction de la taille du cheptel dit « de reproduction » à forte intensité méthane au profit d'animaux productifs via des techniques de sexage de la semence (insémination artificielle)

## Améliorer la qualité de l'alimentation animale pour atténuer le méthane

Pour de nombreux chercheurs et pour la FAO, l'amélioration de l'alimentation animale constitue l'une des façons les plus efficaces d'atténuer les émissions de méthane d'origine entérique.

En plus d'affecter considérablement la productivité, la croissance des animaux (et donc l'âge du premier vêlage) et le taux de mortalité (diminuant la part d'animaux productifs), une faible digestibilité des aliments entraîne en effet une plus grande quantité d'émissions de méthane par unité d'énergie ingérée.

L'amélioration de la ration peut passer par l'adjonction de fourrages verts, de légumineuses arborées ou de lipides (huile de lin, graines de coton). Le traitement, par exemple par de l'urée, de la paille améliore également la digestibilité au même titre que le séchage, le meulage ou la réduction en granulés.

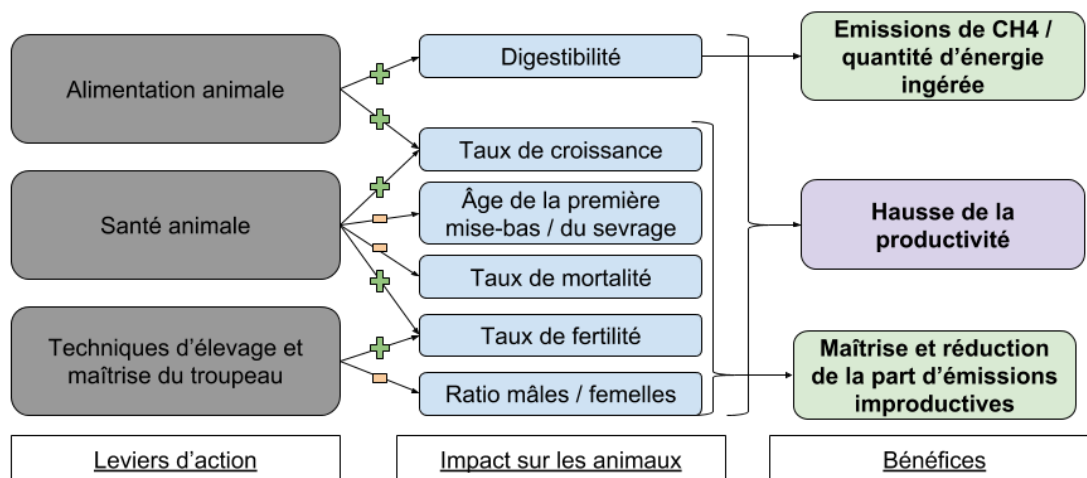


Figure 20 : Grands types de modalités d'atténuation des émissions de méthane d'origine entérique

Concrètement, dans un pays tel que l'Uruguay où l'élevage constitue à la fois l'activité économique principale et la première source d'émissions de GES, une trajectoire envisagée pour diminuer l'intensité méthane consiste à travailler, entre autres, sur le contenu de la ration alimentaire.

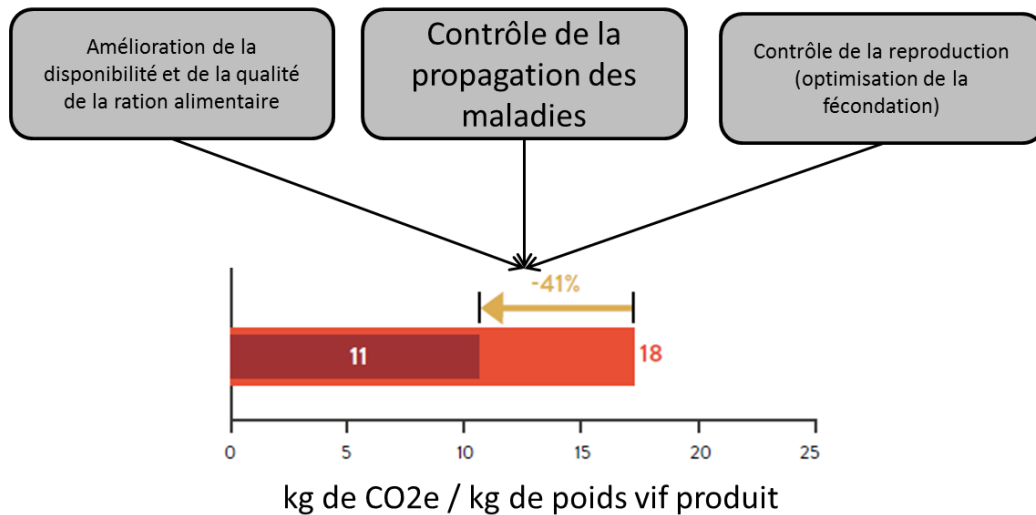


Figure 21 : Leviers et scénario de baisse de l'intensité méthane de l'élevage uruguayen (FAO & New Zealand Agricultural Greenhouse Gas Research Centre, 2017)

Ce type d'approche a fait l'objet en 2016 d'une étude de l'IDDRI dont les résultats sont présentés figure 22 : pour les acteurs de la filière bovine uruguayenne, il serait très concrètement possible de diminuer les émissions du secteur (de l'ordre de 25%) à production constante.

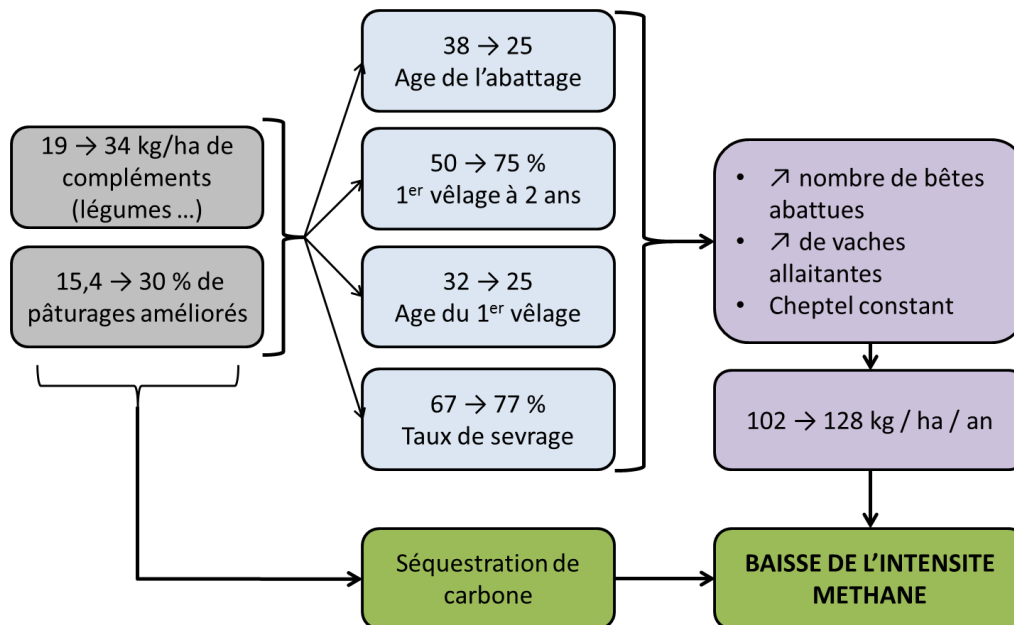


Figure 22 : Levier alimentaire pour une trajectoire bas-carbone de l'élevage uruguayen (d'après Schwoob et al, 2016<sup>38</sup>)

L'intensification est donc souvent avancée comme solution au double problème de la sécurité alimentaire et de la lutte contre le changement climatique dans le cadre de trajectoires économiques bas-carbone : plus la productivité des vaches est importante, plus les émissions par unité de produit (kg de viande ou litre de lait) diminuent (même si au total les émissions par tête peuvent augmenter). En considérant les

<sup>38</sup> Schwoob, M.-H. et al. (2016). Agricultural Transformation Pathways Initiative - 2016 Report, IDDRI & Rothamsted Research.

enseignements de la figure 23, il est ainsi possible d'identifier les pays dans lesquels un gain de productivité serait souhaitable du point de vue des émissions de méthane.

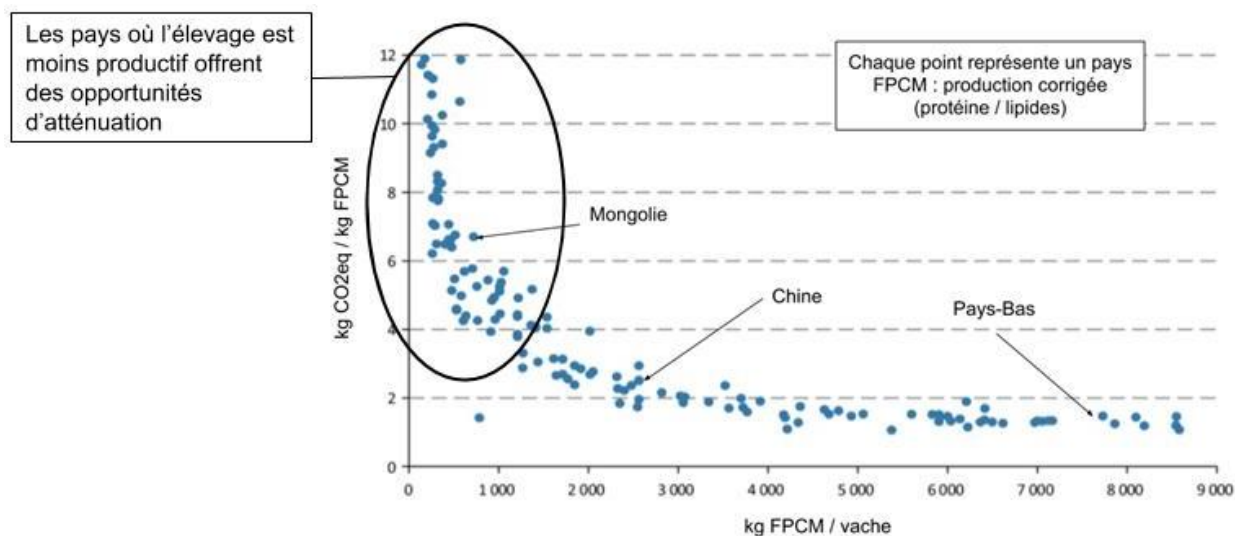


Figure 23 : Relation productivité / émissions de GES (d'après Gerber et al., 2011)

A l'échelle globale, la FAO estime que les émissions du secteur de l'élevage pourraient être réduites de 30% (l'équivalent d'1 Gt CO<sub>2</sub>) tout en gardant le même niveau de production si les producteurs au sein d'un même système ou d'une même région adoptaient les pratiques d'élevage des 10% d'entre eux ayant l'intensité d'émission la plus basse (de 18%, soit plus d'1 Gt CO<sub>2</sub> si ils adoptent les pratiques des 25% les moins intenses)<sup>39</sup>. Si une telle réduction des émissions est possible sans évolution technologique, elle suppose l'établissement de conditions économiques et politiques susceptibles de permettre le dépassement des barrières à l'adoption de ces techniques, déjà existantes mais peu répandues. L'extension de l'utilisation du mix d'intrants utilisés par les élevages les plus performants en termes d'intensité carbone suppose en outre la disponibilité à des niveaux suffisants des ressources nécessaires (par exemple d'un aliment donné sur le marché).

Les zones géographiques où cette approche par alignement sur les exploitations les plus performantes est la plus pertinente sont celles qui concentrent à la fois une forte intensité méthane par tête de bétail et par surface : ces régions sont en effet celles où à la fois le potentiel de réduction de l'intensité (qui, on le rappelle, est fonction de la productivité) et les volumes émis (directement reliés à la densité du bétail) sont importants. La FAO localise principalement ces exploitations en Amérique latine, en Asie du Sud et dans certaines régions d'Afrique de l'Est. C'est donc ici que les efforts en termes d'amélioration des performances des animaux doivent être concentrés, même si des réductions significatives peuvent être réalisées dans les systèmes laitiers qui ont déjà un bon niveau de productivité (comme par exemple dans les pays de l'OCDE).

On restitue figure 24 les résultats de l'évaluation par la FAO du potentiel de réduction des émissions de GES par ce type d'approche visant à réduire l'écart des intensités d'émissions dans les pays en développement en jouant sur les trois leviers évoqués plus haut et la valorisation des effluents.

<sup>39</sup> Lutter contre le changement climatique grâce à l'élevage – Une évaluation des émissions et des opportunités d'atténuation au niveau mondial, p.50. FAO, Rome, 2014



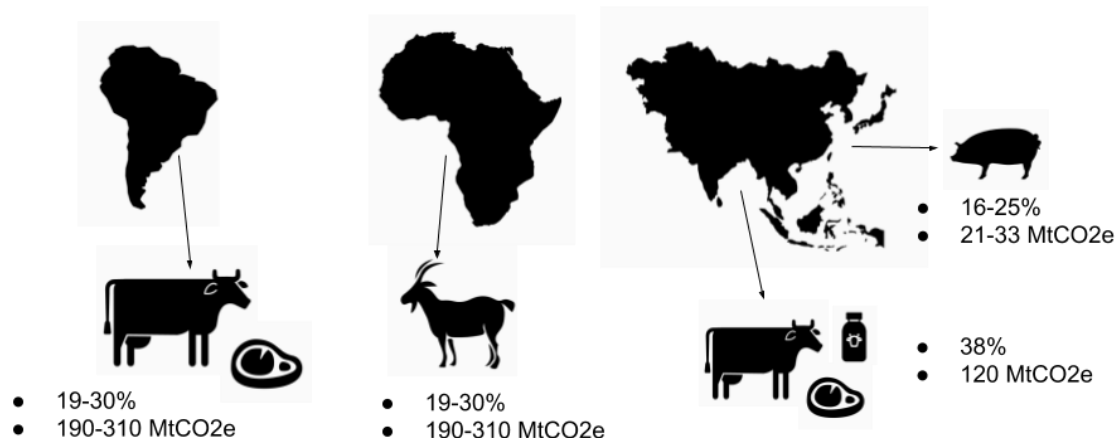


Figure 24 : Estimation (en % des émissions du secteur et en valeur absolue) du potentiel d'atténuation dans les pays en développement (d'après FAO, 2013)

Les tenants d'une agriculture biologique insistent quant à eux plutôt sur la pratique et l'amélioration du pâturage, qui est de nature à faire tendre l'alimentation des animaux vers la neutralité carbone et qui est favorable à la séquestration de carbone dans les sols. Une série de bilans ex-ante internes à l'AFD menés sur une série de projets relatifs à l'amélioration du pâturage vont dans le sens d'une atténuation des émissions de GES, dont une large partie imputable à une baisse du méthane rendue possible par la modification du régime alimentaire. Le sylvo-pastoralisme (pratiqué à divers niveaux d'intensification, voir figure 25) semble également constituer une alternative climato-intelligente à l'élevage conventionnel.

### L'intérêt climatique d'une approche sylvo-pastorale de l'élevage bovin

Le sylvo-pastoralisme consiste à faire cohabiter, à divers niveaux d'intensité, animaux d'élevage et peuplements arborés. Combiner élevage et foresterie peut se révéler très intéressant du point de vue de l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre :

- Le maintien, voire le développement, d'une couverture boisée permet de séquestrer du carbone.
- Le pâturage en forêt est bénéfique vis-à-vis des émissions de méthane entérique puisque le régime alimentaire des bovins est modifié par rapport à l'élevage conventionnel.

Bien souvent, ce type d'élevage génère des co-bénéfices nombreux (sur la biodiversité, sur la qualité du lait ou de la viande, sur la mise en valeur des arbres, la protection incendie ...)

Figure 25 : Approche sylvo-pastorale de l'élevage bovin

Les principaux obstacles à l'implémentation et aux développements de pratiques d'atténuation des émissions de méthane liées à l'élevage bovin sont<sup>40</sup> la difficulté à mesurer directement les émissions produites par les bovins ainsi qu'à quantifier les volumes de GES abattus. Par ailleurs, l'intérêt des techniques reposant sur la manipulation du régime alimentaire des bovins est conditionné aux prix de marché des denrées introduites (huiles végétales, graines ...), parfois volatiles ainsi qu'à la provenance de ces dernières, leur transport pouvant indirectement constituer une source d'émissions de dioxyde de carbone. Pour combler les écarts d'efficacité, la FAO souligne l'importance d'une part de politiques de conseil agricole complétées par des instruments financiers incitatifs et de l'autre d'une approche collective incluant l'ensemble de la filière et considérant la taille

<sup>40</sup> Pew Center on Global Climate Change, « Climate Techbook : Enteric fermentation mitigation », 2009, p. 5

et la complexité du secteur. Il faut en effet souligner la spécificité du secteur agricole : la multiplicité et la diversité des acteurs en présence qui rend difficile la diffusion d'une pratique.

L'implémentation et l'amélioration des pratiques de gestion du fumier offre quant à elle un potentiel d'atténuation plus limité (seulement 10% des émissions de méthane liées à l'élevage) mais a d'autres bénéfices : la captation des émissions provenant du fumier peut constituer une source d'énergie d'appoint et l'épandage bien pratiqué améliore la qualité des sols (offrant une réponse aux enjeux de sécurité alimentaire).

La gestion du fumier et des émissions de méthane qui lui sont associées doivent pourtant faire l'objet d'une surveillance attentive : L'agence américaine de protection de l'environnement atteste en effet d'une tendance à la dérive de ces émissions et les projections dans les pays en développement semblent particulièrement inquiétantes alors qu'elles sont en recul dans les pays occidentaux (voir tableau 11).

Émissions en MtCO <sub>2</sub> e par grandes régions	2000	2015	Evolution 2000-2015	2030	Evolution 2015-2030
Total Occident	103 252	106 518	+3%	103 113	-3%
Afrique sub-saharienne	16 066	27 729	+35%	26 616	+22%
Amérique centrale et du sud	21 867	25 981	+19%	29 224	+12%
Asie du Sud et du Sud-Est	57 989	61 376	+6%	72 593	+18%
Total régions Sud considérées	95 922	109 086	+14%	128 434	+18%

Tableau 10 : Evolution des émissions de méthane liées à la gestion du fumier (Wageningen<sup>41</sup>, 2014)

Dans ce contexte, la valorisation du biogaz dans des digesteurs permet de valoriser le fumier pour la production d'énergie et d'engrais à différentes échelles (notamment familiale dans les pays en développement) et dans différents contextes (le pastoralisme itinérant tel qu'il est pratiqué dans certains pays d'Afrique ne s'y prête par exemple pas vraiment bien) décrits figure 26. Outre l'atténuation du méthane, de telles pratiques offrent de nombreux co-bénéfices, en particulier sur des problématiques de genre (pénibilité réduites de certaines tâches traditionnellement dévolues aux femmes) mais leur diffusion se confronte aux réalités de terrain (maturité de la filière, formation des utilisateurs, acceptabilité sociale, coûts, climat ...)

<sup>41</sup> Wageningen University, "Global Assessment of Manure Management Policies and Practices", 2014, p.13

## La diffusion des technologies « biogaz » dans les pays en développement

Les technologies de valorisation du biogaz fournissent deux produits : le biogaz, qui peut constituer un substitut intéressant au bois-énergie (1m<sup>3</sup> équivaut à entre 3.5 et 10 kg de bois pour les foyers les moins performants ; la condition étant que le gaz soit compétitif face à du bois souvent peu cher voire coupé et ramassé directement par les utilisateurs) et le digestat qui est un fertilisant susceptible d'accroître la part de matière organique des sols.

Dans les pays en développement, la diffusion de ces technologies passe essentiellement par le biogaz « familial ». Dans de petites exploitations agricoles, l'installation de petits digesteurs (de capacité de 4 à 12 m<sup>3</sup>) permet de fournir une source d'énergie relativement propre aux familles d'agriculteurs.

En Asie (Chine, Inde, Népal, Thaïlande) ces dispositifs sont implantés et développés depuis plusieurs décennies tandis que l'introduction en Afrique de ces technologies est plus récente. Le recul qu'on a aujourd'hui permet d'identifier clairement 5 facteurs de réussite :

- La disponibilité de la matière première, c'est-à-dire la présence d'un cheptel suffisant de manière sédentaire.
- L'existence d'un capital humain suffisant et suffisamment informé et formé sur l'utilisation de ces technologies.
- Lorsque les digesteurs sont construits à partir de matériaux locaux (gravier, sable, briques ...), la maturité de la filière et la fiabilité des savoir-faire compte pour beaucoup dans la réussite de la construction / maintenance / distribution des dispositifs et accessoires nécessaires à l'usage du biogaz.
- Des mécanismes de financement et des produits financiers adaptés (c'est-à-dire limitant l'apport initial de l'utilisateur) sont indispensables vu les capacités financières limitées des éleveurs.
- Une volonté politique et une organisation institutionnelle qui mobilise les organismes locaux en charge du développement rural et de l'énergie (organisations représentatives, collectivités locales ...)

Figure 26 : Diffusion des technologies de biogaz

Pour résoudre le problème des émissions liées à la gestion du fumier, la Climate and Clean Air Coalition des Nations Unies plaide pour une gestion intégrée du fumier qui prendrait en compte tous les jalons de la chaîne (excrétion, collecte, stockage, traitement, valorisation, épandage) où les émissions de méthane peuvent intervenir, alors que le focus est bien souvent porté sur la question des digesteurs et de la production de biogaz.

En tout état de cause, l'atténuation des émissions de méthane liée à l'élevage bovin constitue un enjeu complexe : outre les problèmes de faisabilité économique ou d'acceptabilité sociale, la mise en place de mesures concrètes d'atténuation sur cette filière peut constituer une menace potentielle pour la sécurité alimentaire (impact sur la disponibilité de denrées utiles à l'alimentation humaine ou sur la qualité sanitaire des produits engendrés par l'adjonction de produits à la ration alimentaire par exemple). Pourtant, des leviers concrets et relativement peu coûteux à mettre en place ont été identifiés dans les pays en développement où se concentrent les plus gros potentiels d'atténuation : ces actions, outre leur impact positif sur le climat, vont bien souvent dans le sens d'une amélioration significative des rendements ou d'une indépendance énergétique accrue des agriculteurs.

## VERS UN SECTEUR ENERGETIQUE MOINS EMETTEUR DE METHANE

Le secteur de l'énergie arrive second dans le classement des secteurs émetteurs de méthane (100-200 millions de tonnes). Pour l'essentiel, les émissions de méthane ont pour origine l'exploitation du gaz et dans une moindre mesure du pétrole. Le charbon constitue également une source non négligeable d'émission.

---

### DES INITIATIVES POUR REDUIRE LES EMISSIONS LIEES AU SECTEUR PETROLIER ET GAZIER

---

#### LA PROBLEMATIQUE DES EMISSIONS DE METHANE

Le méthane, composant majoritaire du gaz naturel, est en réalité émis à toutes les étapes de la chaîne de valeur des combustibles fossiles. Si elles ne sont pas torchées ou collectées, ces émissions dites « fugitives » représentent des volumes de gaz à effet de serre qui peut modifier de manière importante (jusqu'à 40% des émissions sur l'ensemble du cycle de vie) le bilan carbone du gaz comme combustible pour la production d'électricité. Ces émissions représentent aujourd'hui l'équivalent 5 200 Mt CO<sub>2</sub>, près de 15% des émissions totales du secteur.<sup>42</sup>

En général, il est admis qu'en ne prenant en compte que les émissions liées à la combustion, les centrales gaz émettent entre 2 à 3 fois moins de dioxyde de carbone par kWh produit que les centrales de production électrique utilisant le charbon (respectivement 400 g de CO<sub>2</sub>/kWh contre entre 800 et 1200 g de dioxyde de carbone/kWh). Mais dans certains cas, du fait des fuites de méthane, l'avantage des centrales gaz peut-être largement diminué

Afin de comparer les impacts des filières charbon et gaz naturel, nous avons construit un graphique. Simple de lecture, il présente en ordonnée le pourcentage de fuite de méthane et en abscisse le PRG du méthane : en raisonnant sur le contenu carbone des combustibles considérés nous avons calculé et comparé les facteurs d'émissions de gaz à effet de serre (exprimés en g CO<sub>2</sub>/ kWh) des deux chaînes de valeur pour chaque point de ces graphes. Un code couleur permet alors de distinguer les zones dans lesquelles l'utilisation du gaz a plus d'impact sur l'évolution du climat que le charbon et vice-versa.

Ce graphe est construit pour la comparaison de différentes technologiques :

- Une centrale gaz à cycle combiné : la meilleure technologie disponible pour le gaz naturel avec un rendement énergétique de 55% et disposant d'une durée de vie de 30 ans<sup>43</sup>
- Une centrale gaz à cycle simple avec un rendement moindre (33%).
- Une centrale charbon dite « super-critique » : cette technologie disponible offre 45% de rendement énergétique et est la plus performante de la filière et qui a une durée de vie de 40 ans<sup>44</sup>
- Une centrale charbon classique (33% de rendement).

Les principales sources de fuites de méthane ont été répertoriées. Elles proviennent principalement :

- Des puits lors du forage dans des quantités variables (en fonction de la profondeur, de la technologie utilisée, de la nature de la formation géologique ...)
- Des joints entre les équipements nécessaires à la production du gaz.
- Lors du transport du gaz naturel (liquéfié ou non) jusqu'à l'utilisateur final, du gaz peut s'échapper des pipelines / des tankers / du réseau urbain.

---

<sup>42</sup> World Energy Outlook 2018, IEA

<sup>43</sup> ETSAP, IEA

<sup>44</sup> ibid

Les résultats obtenus sont présentés figure 27 : il est possible d'y reporter en ordonnée les différentes valeurs estimées du niveau de fuites de méthane au cours du cycle de vie du gaz naturel et en abscisse les valeurs du PRG à différents horizons.

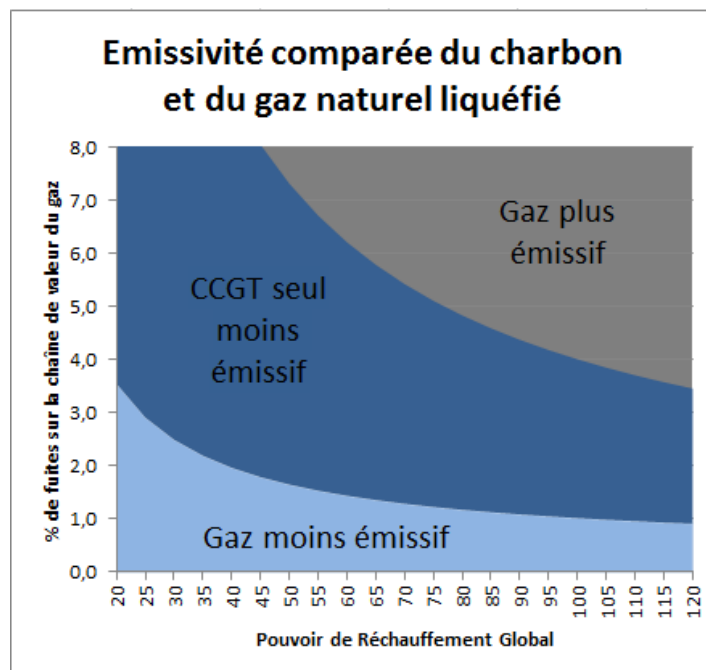


Figure 27 : Abaques de comparaison de l'émissivité de deux combustibles

Il existe plusieurs sources d'informations sur les estimations des niveaux de fuite dans l'atmosphère de méthane lié aux secteurs des énergies fossiles :

- L'US EPA (équivalent américain du ministère de l'environnement) propose une valeur par défaut d'1.8% ; Celle-ci repose, de l'aveu même de l'inspecteur général de l'agence, sur des bases scientifiques douteuses et est issue d'une révision à la baisse (en 2011, l'agence avait initialement proposé 2.5%). L'intérêt des Etats-Unis à sous-estimer cette valeur est grand puisque le remplacement du charbon par le gaz de schiste pour la production d'électricité est la principale mesure qui permet aux pays d'afficher une forte réduction d'émissions de gaz à effet de serre ces dernières années. Outre le bénéfice qu'en tire l'industrie américaine, le gaz de schiste bouleverse aussi largement les équilibres géopolitiques comme en témoigne la politique agressive des Etats-Unis pour exporter le gaz de schiste liquéfié en Europe ; d'ici à 2025, les Etats-Unis devraient d'ailleurs devenir le premier exportateur mondial de gaz naturel grâce à l'exploitation des schistes<sup>45</sup>.
- L'ONG la plus active sur le sujet est Environmental Defense Fund (Etats-Unis). Cette organisation a réalisé récemment une estimation des fuites de méthane de gaz de schiste à 2.3%<sup>46</sup>. Les auteurs admettent que ce chiffre ne correspond pas aux études les plus récentes et ne comparent pas leurs résultats à deux études plus anciennes qui donnent des chiffres encore plus élevés. Par ailleurs, les résultats qui servent de base statistique à l'étude proviennent d'un article très largement contesté depuis en raison d'une mauvaise utilisation des modèles d'émission. Au total, ce chiffre sous-estime donc les émissions à la fois en amont et en aval de la chaîne de valeur.
- Enfin Howarth et al, 2011 de l'Université d'Austin au Texas, ont estimé les fuites de méthane à environ 5% dont la moitié sur l'upstream. Même si cette dernière valeur est sujette à de plus larges incertitudes

<sup>45</sup> World Energy Outlook 2017, IEA

<sup>46</sup> Alvarez, Ramón A., et al. "Assessment of methane emissions from the US oil and gas supply chain." *Science* (2018)

elle est la plus cohérente vis-à-vis des modèles et mesures atmosphériques ainsi qu'au regard des données disponibles sur les émissions qui interviennent au moment du forage (gaz de schiste surtout).

- En prenant tous ces facteurs (fuites de méthane, dioxyde de carbone ventilé ...), un benchmark des différents combustibles arrivant en Europe réalisé par la Commission Européenne<sup>47</sup> appuie l'idée que dans plusieurs cas (GNL algérien, gaz libyen et russe ...) le gaz naturel peut présenter une intensité carbone supérieure à celle du charbon pour la production d'électricité.

Si on retient le cas d'une centrale de production d'électricité en cycle simple, selon l'estimation de fuite de méthane fournie par l'ONG américaine Environmental Defense Fund<sup>48</sup>, alors cette dernière option peut être aussi émissive que la meilleure technologie charbon et ce même en raisonnant sur des impacts à 100 ans (et donc à fortiori en raisonnant à 20 ans).

Si on retient le cas d'une centrale en cycle combiné, avec un PRG à 100 ans, le gaz conserve un meilleur bilan effet de serre que le charbon quel que soit le niveau de fuite retenu. En revanche, avec un PRG à 20 ans le point d'équilibre entre les deux énergies fossiles se retrouve à 5%.

A noter que le seuil de fuite de méthane au-delà duquel le gaz naturel devient plus émissif que le charbon peut être encore plus bas si on prend en considération les émissions liées à la liquéfaction du gaz naturel (autoconsommation de l'ordre de 10%) ou les émissions de dioxyde de carbone « fossile » contenu dans le réservoir envoyé dans l'atmosphère lors de la production de gaz naturel (classiquement, cette valeur représente entre 5% à 15% des volumes de gaz produit avec quelques cas extrême comme en Asie du sud-est où Exxon exploite un champ qui contient jusque 70% de dioxyde de carbone ; on retient dans les graphiques le chiffre de 5%).

Selon le dernier World Energy Outlook, la comparaison entre gaz et charbon est dans les faits favorable au gaz dans 99.7% des cas (97% en raisonnant avec un PRG à 20 ans) ; l'IEA (qui n'explique pas complètement la manière dont les fuites sont évaluées ni la valeur retenue pour l'intensité carbone du charbon) reconnaît toutefois que la comparaison avec le charbon biaise le débat qui devrait être focalisé sur la mise en œuvre de mesures minimisant ce facteur d'émissions et rapprochant le gaz des énergies renouvelables pour la production d'électricité.

---

## OPPORTUNITES DE REDUCTION DANS LE SECTEUR

Les éléments produits dans le chapitre ci-dessus invitent à s'occuper du sujet des fuites de méthane qui devient un sujet majeur. Ainsi, même les courbes d'estimation du coût marginal d'abattement dans ce secteur sont sujettes à caution car dépendantes d'un nombre important d'hypothèses, elles permettent de se faire une bonne idée du potentiel (en termes de volumes évités de manière rentable) de réduction d'émissions de GES. Ainsi, l'Agence Internationale de l'Energie suggère qu'il est raisonnable de penser qu'au moins 1 500 Mt CO<sub>2</sub>eq pourraient être évitées via des installations qui, à minima, se rembourseraient par le prix du gaz économisé<sup>49</sup> (autrement dit le coût de l'abattement est inférieur au prix du méthane). L'élimination des fuites de méthane constitue donc un levier puissant et rentable d'atténuer les émissions du secteur de l'énergie.

Toujours d'après l'AIE, le gros des opportunités se concentre sur la filière amont (récolte, production, traitement, en jaune sur la figure 28), l'organisation montrant par ailleurs que le coût de l'atténuation est moindre dans les pays en voie de développement de régions comme l'Asie ou le Moyen-Orient.

---

<sup>47</sup> Commission Européenne, DG ENER, "Study on actual GHG data for diesel, petrol, kerosen and natural gas" (Juin 2015)

<sup>48</sup> Alvarez, Ramón A., et al. "Assessment of methane emissions from the US oil and gas supply chain." *Science* (2018)

<sup>49</sup> IEA, « *World Energy Outlook 2018* » p.478

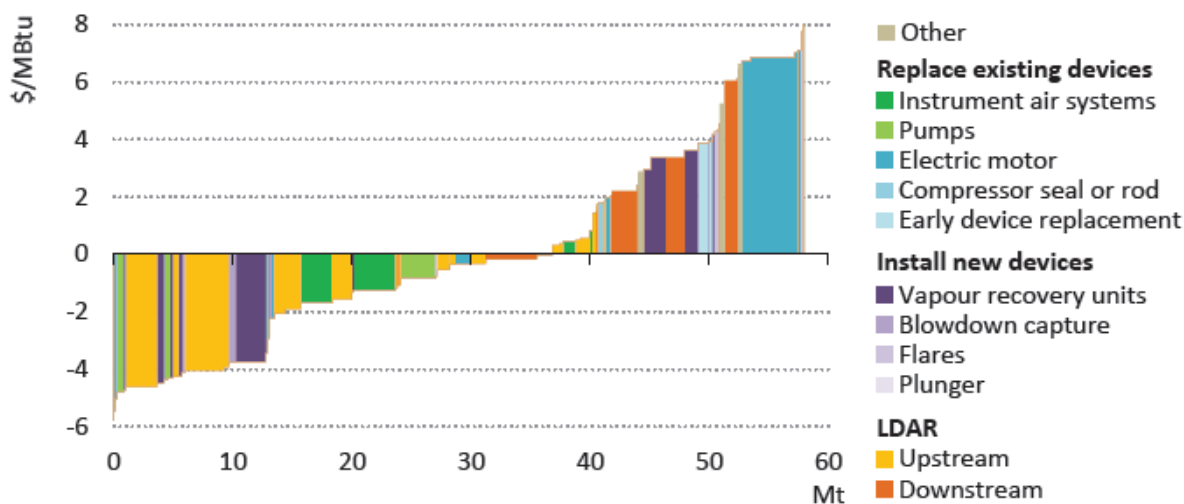


Figure 28. Courbe d'abattement marginal & méthodes d'atténuation des fuites de méthane (IEA, 2018)<sup>50</sup>

## L'exploitation de gaz de schiste plus émissive que le gaz conventionnel

R. Howarth de l'université du Texas a évalué en 2011 que l'exploitation du gaz de schiste est au moins 30% plus émettrice en méthane que l'exploitation conventionnelle du gaz naturel, ce qui en ferait potentiellement une source d'énergie moins propre que le charbon sur un horizon de 20 ans (et comparable au charbon sur un horizon de 100 ans), au point que la NASA a prouvé l'existence d'une corrélation forte entre les pics d'émissions de méthane et les pics de production de gaz de schiste.

La pratique de la fracturation hydraulique (« fracking ») est en particulier mise en cause vu la quantité importante de méthane qui remonte à la surface (« flow back ») avec les fluides d'extraction et vu le nombre important de nouveaux puits forés. L'US EPA affirme cependant que 90% de ces émissions pourraient être atténuées via des technologies REC (« Reduced Emissions Completion » qui consistent à capturer le gaz émis lors du forage grâce à des dispositifs temporaires) extrêmement rentables tandis que les émissions lors du transport pourraient être réduites via des avancées technologiques (compresseurs / liquéfacteurs) et un meilleur monitoring des fuites (intéressant économiquement vu la quantité de combustible échappé).

Figure 29 : Focus sur les émissions liées à l'exploitation du gaz de schiste (d'après Howarth et al., 2011<sup>51</sup>, NASA, 2018<sup>52</sup> et EPA, 2016<sup>53</sup>)

Pour la CCAC<sup>54</sup> qui réalisait en 2014 une étude sur les USA, la mise en place de normes ciblant spécifiquement les émissions de méthane est une approche susceptible de diviser par deux les émissions du secteur de quatre manières distinctes<sup>55</sup> :

<sup>50</sup> ibid

<sup>51</sup> Howarth, Robert W., Renee Santoro, and Anthony Ingraffea. "Methane and the greenhouse-gas footprint of natural gas from shale formations." *Climatic Change* 106.4 (2011): 679.

<sup>52</sup> L'étude de la NASA est disponible à : <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-led-study-solves-a-methane-puzzle>

<sup>53</sup>

Disponible

à :

[https://www.epa.gov/sites/production/files/201606/documents/reduced\\_emissions\\_completions.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/201606/documents/reduced_emissions_completions.pdf)

<sup>54</sup> CCAC, "Waste Not : Common Sense Ways to Reduce Methane Pollution from the Oil and Natural Gas Industry", 2014

<sup>55</sup> IEA, « World Energy Outlook 2018 » p.494

- Le développement de programmes de contrôle, maintenance et réparation plus poussés (LDAR pour Leaks Detection And Repair) sur les équipements les plus émetteurs (plateformes de forage, usines de traitement, compresseurs, réseaux aériens de distribution ...) permettrait de détecter plus rapidement les « super-émetteurs » responsables dans les seuls Etats-Unis de l'émission de 2 Mt de méthane (25% des émissions du secteur aux États-Unis)
- L'installation d'unités de collecte et de condensation des vapeurs émises au niveau des réservoirs (de pétrole) apporte une solution d'atténuation parmi les moins coûteuses.
- Il serait possible d'éliminer plus d'1 Mt de méthane en remplaçant les vieux équipements (joints, compresseurs, pneumatiques) par des technologies déjà existantes plus performantes et peu coûteuses. Ces options comptent parmi les plus chères mais ont dans certaines régions un coût négatif.
- La capture des émissions « volontaires » de gaz (ou leur valorisation lorsqu'elles sont torchées) offre quant à elle un potentiel de réduction d'un demi-million de tonnes de méthane dans le pays.

Le tout est possible à peu de frais (évalué à moins d'1% des revenus du pétrole aux US) et offre de multiples co-bénéfices, en particulier la réduction d'autres polluants volatiles nocifs pour la santé.

L'industrie compte (via notamment l'Oil & Gas Climate Initiative, un fond d'investissement qui rassemble 10 groupes pétroliers dont BP, Chevron, Shell, Total et Saudi Aramco) sur l'innovation et la recherche pour réduire les émissions ; les pistes avancées incluent entre autres :

- L'amélioration des inventaires portant sur les sources d'émissions
- L'augmentation de l'efficacité du torchage
- La collecte du gaz ventilé lors du passage dans les compresseurs
- Le passage à des joints plus performants (« dry seals »)
- Le remplacement des pompes fonctionnant au gaz par des pompes électriques
- L'utilisation d'agents moussants / de surfactants lors des processus de pompage (qui limiterait les surpressions à l'origine d'émissions non contrôlées).
- ...

---

## AVANCER VERS DES MINES DE CHARBON MOINS EMETTRICES

Les mines de charbon émettent entre 30 et 60 Mt de méthane par an<sup>56</sup> (contre entre 70 et 90 Mt pour la filière « Oil and Gas »), pour l'essentiel en provenance des mines souterraines et pour une petite partie des mines de surface ou des mines abandonnées. Le premier émetteur de méthane minier est de très loin la Chine suivi par les Etats-Unis et la Russie (respectivement 52.7%, 10.5% et 7.5% d'après l'US EPA<sup>57</sup>) Le méthane sort pour les 2/3 des puits de dé-gasification sous forme de gaz très concentré (le « grisou » qui contient en fonction de la profondeur et du type de charbon entre 30 et 90% de méthane) et donc techniquement valorisable, le reste sortant trop dilué (« Ventilation Air Methane » ou VAM pour lequel la seule solution est la combustion, économiquement peu viable) ou lors du transport.

En 2018, la Global Méthane Initiative recense dans le monde 486 projets<sup>58</sup> visant à réduire ou à valoriser les émissions de méthane issues des mines de charbon. Ces projets se décomposent en 4 grands types de mesures détaillées dans le tableau 12.

---

<sup>56</sup> Saunois, Marielle, et al. "The global methane budget 2000-2012." *Earth System Science Data* 8.2 (2016)

<sup>57</sup> US EPA, « *Global Anthropogenic Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions, 1990-2030* »

<sup>58</sup> Global Methane Initiative, disponible à <https://www.globalmethane.org/sectors/index.aspx?s=coal> (consulté le 18/06/2018)



Mesure d'atténuation	Capitaux totaux installés (M\$)	OPEX annuels (M\$)	Durée de vie technique	Efficacité technique
Injection en pipeline	8.4	2.4	15	21%
Génération d'électricité sur site	23	2.6	15	28%
Génération de chaleur sur site	2.8	1.2	15	28%
Capture et torchage	2.3	1.5	15	28%
Oxydation du gaz ventilé	8.0	1.3	15	19-68%

Tableau 11 : Types de mesures d'atténuation des émissions de méthane des mines de charbon (EPA, 2012) (CAPEX totaux : 44.5M\$ ; OPEX totaux : 9M\$)

Aux Etats-Unis, l'US EPA souligne dans un rapport de Janvier 2018<sup>59</sup> qu'au-delà des considérations politiques, l'intérêt de valoriser les émissions de méthane est financier. Alors qu'une très faible portion (17 en 2015) des 500 mines de charbon américaines (dont 300 actives) est équipée de dispositifs de drainage et de collecte du méthane, l'agence établit une liste de 25 mines (comptant pour près de 80% du méthane émis par les mines souterraines de charbon américaines) très diverses en termes de profil mais toutes candidates sérieuses à des projets économiquement faisables et rentables.

- Parmi elle, la mine de Buchanan dans les Appalaches (encore active et très productrice de charbon) est l'une des rares qui soit déjà équipée. Elle parvient à drainer 88% du volume de méthane émis par la mine (près de 1.2 kt CH<sub>4</sub> / jour) et à l'injecter dans le pipeline proche.
- La mine abandonnée de West Elk, Colorado peut produire jusque 3 MW tout en torchant les émissions grâce à un système de collecte et un générateur.

S'il est avant tout le reflet des politiques environnementales (marchés carbone, obligations légales ...) de ces pays, le succès de tels projets en Allemagne (où 43 mines sont équipées) ou en Chine (où le volume de méthane capturé et utilisé a été multiplié par 6 entre 2005 et 2012) témoigne de la possibilité de construire une industrie viable sur la récupération des émissions de méthane.

L'émergence et l'évolution des marchés carbone semblent en outre augmenter le nombre d'opportunités de générer des profits sur ce type d'activités ; d'autant plus alors que l'US EPA signale<sup>60</sup> que les tendances actuelles (hausse de la production chinoise notamment) vont dans le sens d'une hausse moyenne de ces émissions de l'ordre d'1.7% / an. D'après l'agence américaine de protection de l'environnement les émissions de méthane associées à l'exploitation des mines de charbon vont avoir en 2020 autant d'impact sur le climat que 166 centrales à charbon. Dans ce contexte, l'instauration en Chine (ou le charbon est central dans le mix énergétique) d'un marché de quotas d'émissions de CO<sub>2</sub> est susceptible de faire évoluer les lignes.

<sup>59</sup> US EPA "Identifying opportunities for methane recovery at U.S. Coal Mines : profile of selected gassy underground coal mines 2007-2015" (2018)

<sup>60</sup> US EPA "Global Mitigation of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: 2010–2030" (2013), p.57

## LES EMISSIONS LIEES AUX BARRAGES HYDROELECTRIQUES

Les barrages hydroélectriques sont responsables d'émissions considérables de méthane suivant l'inondation des zones nécessaires à la création des réservoirs. Le phénomène responsable des émissions de méthane venant des réservoirs naturels est le même que celui qui intervient dans les réservoirs naturels (activité de bactéries méthanogènes en conditions anaérobies) et qu'on a détaillé figure 30 : le carbone émis provient largement (90%) des sols inondés et pour le reste de la dégradation de la biomasse (végétaux) inondée. Si l'essentiel du méthane produit dans ces conditions est lui-même dégradé par des bactéries méthanotrophes aérobies (ce qui souligne à la fois l'intérêt de l'oxygénation des eaux retenues et l'importance des barrages profonds aux dépens des barrages avec une surface importante) lors de sa remontée vers la surface, une partie sort soit par diffusion soit sous forme de bulles.

L'essentiel des émissions de méthane intervient dans les premières années d'exploitation du barrage et décroissent avec le temps. Elles sont en général plus importantes dans les barrages tropicaux que sous d'autres latitudes mais le phénomène a été observé y compris dans des barrages dits « boréaux »<sup>61</sup> jusque 10 ans après l'inondation. L'impact d'un tel barrage varie considérablement en fonction de la surface et de la profondeur du réservoir, des conditions climatiques (la température dans les zones tropicales est optimale pour le développement des bactéries méthanogènes), de la nature des sols, des propriétés (oxygénation notamment) de l'eau qui arrive par les rivières, des végétaux aquatiques présents ... Rares sont encore les études abouties sur le sujet et les résultats disponibles sont extrêmement divers : on retient principalement l'étude menée sur le barrage de Petit Saut en Guyane Française<sup>62</sup> qui constitue une référence pour les barrages tropicaux (bien qu'elle constitue un cas particulier en raison de son faible rapport productible / surface).

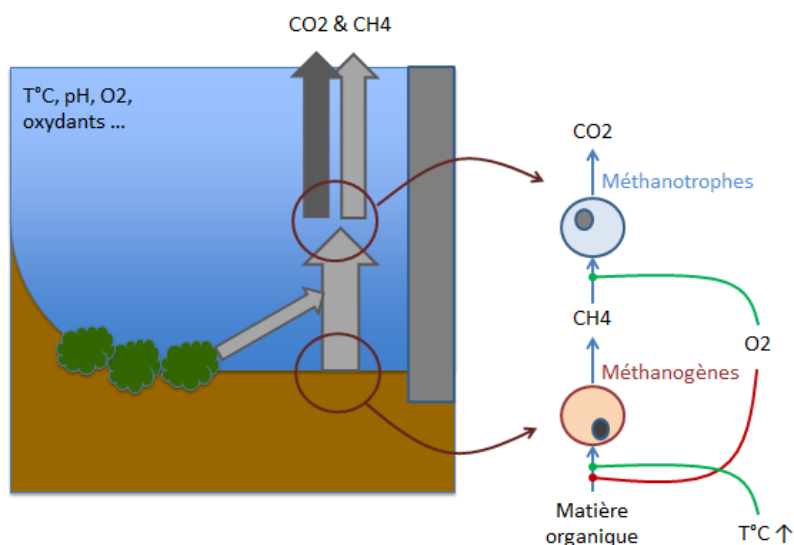


Figure 30 : Mécanismes simplifiés de production du méthane dans un lac de retenue

Au total sur les 20 premières années qui suivent la mise en service de ce barrage, on estime que ce sont entre 467 et 919 kt CH<sub>4</sub> qui ont été émises (soit entre 14 et 26 Mt CO<sub>2eq</sub> à 100 ans). Sur toute la durée de vie de la centrale et en prenant en compte l'intégralité des GES émis, on arrive à des émissions supérieures à 400 g de

<sup>61</sup> Yang, Le, et al. "Progress in the studies on the greenhouse gas emissions from reservoirs." *Acta Ecologica Sinica* 34.4 (2014): 204-212.

<sup>62</sup> Frédéric Guérin. Émission de gaz à effet de serre par une retenue de barrage hydroélectrique en zone tropicale (Petit-Saut, Guyane Française) : expérimentation et modélisation. Océan, Atmosphère. Université Paul Sabatier - Toulouse III, 2006.

dioxyde de carbone par kWh produit, des chiffres à ce qu'on observe dans une centrale à gaz à cycle combiné (elle-même plus propre qu'une centrale à charbon ou au fioul). Comme on peut le remarquer ci-dessous, les émissions de méthane vont décroissantes avec le temps et leur cumul (présenté figure 31) ne dépasse celui des émissions d'une centrale à gaz « que » pendant les 55 premières années d'exploitation (respectivement 35 années d'exploitation pour le charbon et 25 pour le fioul)<sup>63</sup>.

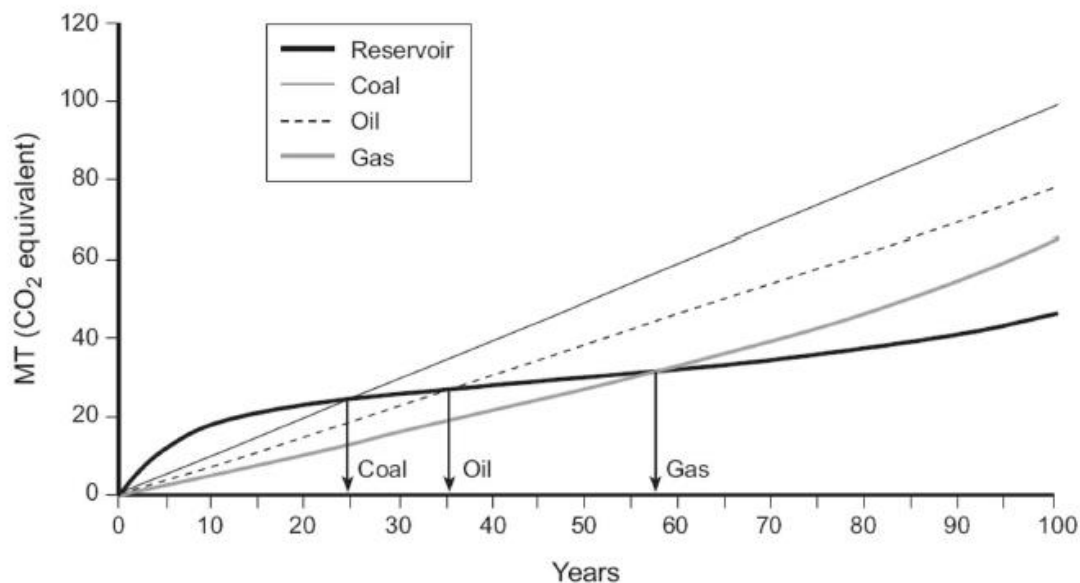


Figure 31 : Émissions cumulées de GES de différentes alternatives (Guérin, 2006 ; barrage du Petit Saut en Guyane) pour une même capacité électrique installée.

A minima ce constat, dont il semble qu'il soit aussi valable pour les petites installations que pour les grandes<sup>64</sup><sup>65</sup>, interroge le développement de la capacité hydroélectrique des pays situés dans des zones tropicales sans études préalables poussées sur les émissions de méthane associées au barrage.

Les flux de méthane mesurés dans d'autres barrages tropicaux tels que ceux de Nam Leuk au Laos sont du même ordre de grandeur que ceux de Petit Saut<sup>66</sup> et ce malgré des travaux préalables de déforestation ce qui vient confirmer l'idée qu'il s'agit là d'option d'atténuation pas forcément très efficaces : néanmoins, il faut noter qu'elle permet une réduction nette des émissions à un coût peu important (voire négatif si le bois coupé est valorisable).

La ré-oxygénation préalable des eaux du barrage (à l'aide de pertuis, d'écluses ...) constitue une autre alternative : en facilitant l'action des bactéries qui oxydent le méthane en dioxyde de carbone, elle peut permettre la réduction des émissions. Néanmoins, elle doit faire l'objet d'une attention particulière vu l'effet de ces mesures sur la biodiversité dans le lac de retenue et dans la rivière en aval.

Il faut noter que ce type d'émissions, encore soumis à de l'incertitude sur le plan scientifique (toutes les études publiées concluent à la nécessité de poursuivre encore la recherche à ce sujet), reste quoiqu'il en soit

<sup>63</sup> La durée de vie / d'exploitation d'un barrage est très variable : elle peut être bien plus longue que celle d'une centrale thermique ou bien moindre.

<sup>64</sup> Kelly-Richards, Sarah, et al. "Governing the transition to renewable energy: A review of impacts and policy issues in the small hydropower boom." *Energy Policy* 101 (2017): 251-264.

<sup>65</sup> Premalatha, M., Tasneem Abbasi, and S. A. Abbasi. "A critical view on the eco-friendliness of small hydroelectric installations." *Science of the Total Environment* 481 (2014): 638-643.

<sup>66</sup> Chanudet, Vincent, et al. "Gross GHG emissions from the Nam Ngum and Nam Leuk sub-tropical reservoirs in Lao PDR." *Science of the total Environment* 409.24 (2011): 5382-5391.

largement sous-estimé<sup>67</sup> par les méthodes de calcul du GIEC. A noter que la variété de facteurs en jeu et la diversité des situations ne permet pas l'utilisation d'un facteur d'émission unique pour tous les barrages, même au sein d'une aire géographique et climatique donnée.

Une récente méta-analyse menée sur les barrages et projets de barrages le long du fleuve Mékong<sup>68</sup> montre par exemple que, si la majeure partie de l'échantillon de 119 barrages émet moins que les fossiles par MWh produit avec un PRG à 100 ans, une grande variabilité existe et un nombre significatif de barrages hydroélectriques sont autant voire plus émissifs que des centrales thermiques (i.e. ils émettent plus que 380 kg CO<sub>2eq</sub> / MWh) de puissance équivalente. Si l'on raisonne sur des horizons plus courts (la durée de vie opérationnelle des turbines d'un barrage comme celui de Nam Teuk 2 au Laos étant d'environ 25 ans), le nombre de barrages équivalent à des centrales thermiques approche probablement 25%.

L'article retient comme facteur discriminant la capacité surfacique (« power density » définie dans les Clean Development Mechanism comme le rapport entre la capacité installée et la surface du barrage<sup>69,70</sup>) : l'intégralité des barrages jugés émissifs en ont une en deçà de 4 W/m<sup>2</sup> (et les barrages « au fil de l'eau » avec leur surface virtuellement nulle en ont une théoriquement infinie ce qui est cohérent avec leur très faible émissivité) ; ceci vient soutenir l'idée que les points de vigilance portent essentiellement sur les barrages où la surface de matière organique dégradabile en méthane est importante.

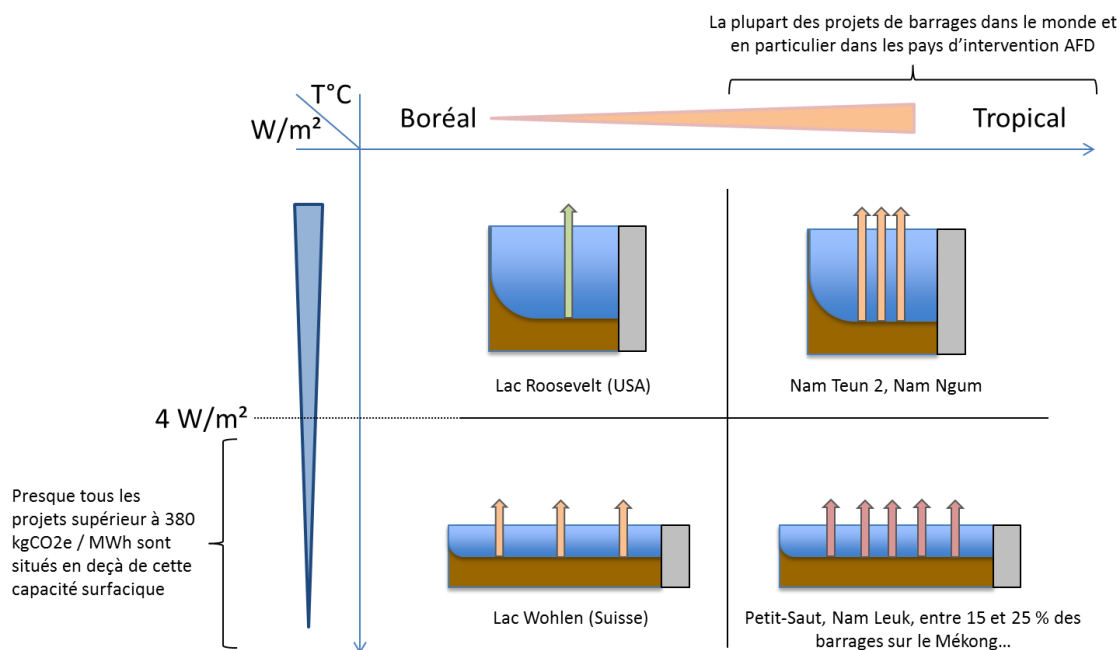


Figure 32. Typologie de barrages, critères discriminants et émissions de méthane

Sans remettre en cause l'intérêt de l'hydroélectricité (elle est une énergie non intermittente, offre des possibilités de stockage, compétitive ...), le constat de l'émissivité des barrages vient soulever un point de vigilance dans les pays d'intervention de l'AFD vu l'ambition de certains (Laos, Colombie ... voir III) de développer

<sup>67</sup> Fearnside, Philip M. "Emissions from tropical hydropower and the GIEC." *Environmental Science & Policy* 50 (2015): 225-239.

<sup>68</sup> Räsänen, Timo A., et al. "Greenhouse gas emissions of hydropower in the Mekong River Basin." *Environmental Research Letters* 13.3 (2018): 034030.

<sup>69</sup> Ray, Rebecca. "The Panda's Pawprint: The Environmental Impact of the China-led Re-primarization in Latin America and the Caribbean." *Ecological Economics* 134.C (2017): 150-159.

<sup>70</sup> On pourrait aussi s'intéresser au rapport entre volume et profondeur du réservoir qui traduit le même phénomène.

massivement leur capacité hydroélectrique. Il faut en effet souligner que la majorité des projets d'installation de barrage est aujourd'hui localisée au Sud, dans des zones tropicales ou sub-tropicales où la problématique est encore plus saillante qu'ailleurs.

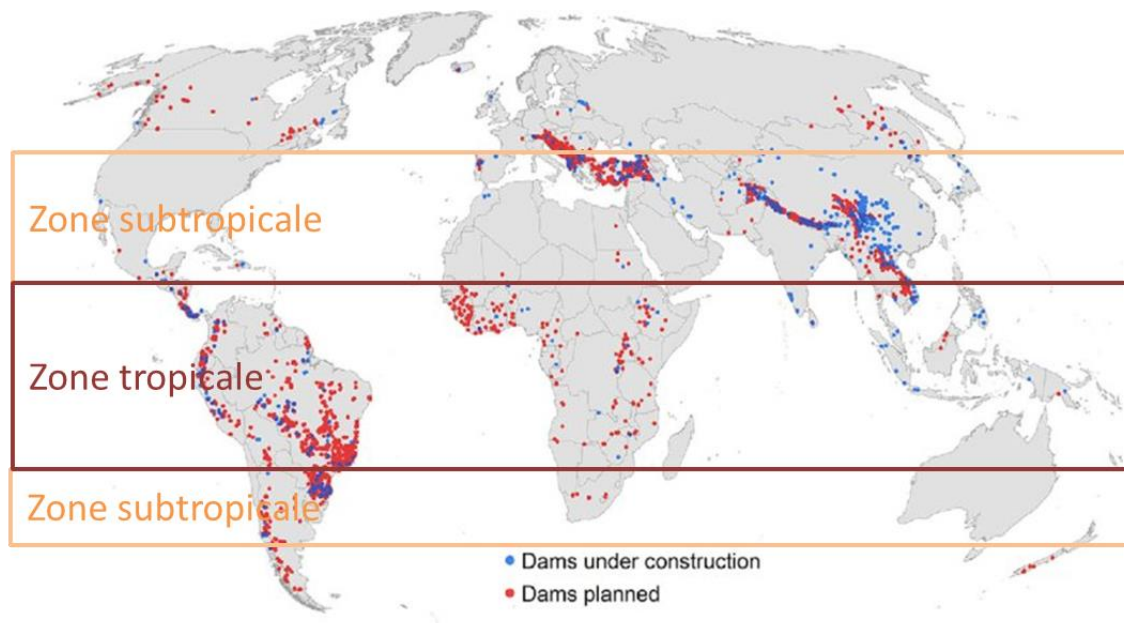


Figure 33. Barrages planifiés (rouge) et existants (bleus) (d'après Zarfl, 2014<sup>71</sup>)

## DES PROGRAMMES DE REDUCTION DES EMISSIONS LIEES AUX DECHETS

La gestion des déchets représente 18% des émissions anthropiques de méthane soit plus de 60 Mt, avec pour origine deux sous-secteurs distincts : les décharges et le traitement des eaux usées (dans des proportions d'environ 2/3 – 1/3).<sup>72</sup>

### DECHETS SOLIDES : ATTENUER LES EMISSIONS DES DECHARGES

Les premières émettent des GES le plus souvent dès la deuxième année (parfois plus rapidement en fonction de la composition du déchet entrant et des conditions de stockage) après la mise en place des déchets (lorsque l'oxygène présent a été entièrement consommé par les bactéries dites aérobies et que les bactéries anaérobies prennent le relais), ce poste constituant une des sources les plus importantes d'émission pour nombre de pays en développement.

Au prix actuel de l'énergie, l'US EPA estime à 70-80 Mt CO<sub>2eq</sub><sup>73</sup> (95-108 Mt CO<sub>2eq</sub> avec un PRG de 28.5) le potentiel d'abattement rentable en méthane dans le secteur des déchets. Aujourd'hui, l'option atténuante privilégiée dans les pays industrialisés consiste à brûler les déchets pour la production d'électricité ou d'énergie (chauffage urbain) mais la valorisation du LFG (mélange à part égale de dioxyde de carbone et de méthane) issu des installations de stockage des déchets (ou ISD : on parle de CET pour désigner les centres d'enfouissement techniques ou de décharges lorsque le stockage n'est pas maîtrisé) pour son injection dans le réseau ou la production d'électricité est une alternative également rentable.

<sup>71</sup> Zarfl, Christiane, et al. "A global boom in hydropower dam construction." *Aquatic Sciences* 77.1 (2015): 161-170.

<sup>72</sup> Saunois, Marielle, et al. "The global methane budget 2000-2012." *Earth System Science Data* 8.2 (2016)

<sup>73</sup> Ibid, p. 98

Mesure d'atténuation	Capitaux totaux installés (M\$)	OPEX annuels (M\$)	Horizon temporel	Efficacité de la réduction
Système de collecte & torchage	1.7	0.3	15	85%
Génération d'électricité				85%
Moteur de combustion interne	6.3	0.8	15	85%
Turbine à gaz (> 3MW)	5.6	0.6	15	85%
Micro-turbine (< 1MW)	4.1	0.1	15	85%
Production de chaleur / énergie	7.9	0.8	15	85%
Utilisation directe du gaz	2.6	0.5	15	85%
Système d'oxydation	5.4	0	50	44%

Tableau 12 : Types de mesures d'atténuation des émissions de méthane dans les décharges (EPA, 2012)

La collecte de gaz à des fins de torchage est une initiative permettant de réduire considérablement les émissions liées au stockage de déchets solides de manière relativement peu coûteuse (une décharge à Meknès au Maroc évite chaque année l'émission de 100 kt CO<sub>2eq</sub> par l'élimination en torchère du biogaz) ; ce n'est néanmoins pas une pratique qui offre de co-bénéfices particuliers comme pourrait le faire la conversion de ce gaz en énergie (électricité ou chaleur).

C'est ainsi qu'à Hong-Kong l'utilisation des décharges NENT et WENT (North East et West New Territories) comme bioréacteurs a permis d'optimiser leur capacité (elles accueillent aujourd'hui les déchets quotidiens d'un million de personnes) tout en intégrant un dispositif de collecte et de transport du gaz vers une centrale proche. Pour la seule décharge de NENT ce sont ainsi 25 000 m<sup>3</sup> de biogaz qui sont captés chaque jour, de quoi produire 27MWh d'électricité par an. En captant et en valorisant ce méthane, on évite tous les ans d'émettre l'équivalent à 100 ans de 123 kt de dioxyde de carbone (les émissions de 40 000 voitures).

Notons que dans certains pays développés ce type de pratique peut atteindre des niveaux d'efficacité encore plus élevés : le bioréacteur de l'ISD de Sonzay en France, opéré par Suez, est équipé de cellules de collecte et de valorisation du biogaz en production d'énergie qui lui permette non seulement d'être autosuffisante en électricité, mais également de produire suffisamment de chaleur pour nourrir un réseau de chaleur urbain couvrant plus de 6000 habitations.

La question des déchets ménagers dans les pays développés n'est pas anodine ; comme le notaient déjà B.Dessus et Laponche il y a 10 ans il est pourtant possible techniquement d'atteindre rapidement mais de manière durable (la rentabilité dépend souvent de la politique de subvention à l'électricité « verte ») le niveau de performance d'un pays comme l'Allemagne et de réduire considérablement les émissions de ce secteur.

Notons également que les procédés de dérivation ou d'évitement (« waste diversion »), détaillés dans le tableau 14, consistant à diminuer la quantité de déchets solides entrant dans l'ISD ou à réduire la proportion de déchets particulièrement émetteurs en méthane peuvent s'ajouter aux autres procédés d'atténuation et ne sont pas exclusifs. Dans les pays en développement, c'est cette approche par « évitement » qui est privilégiée, un système pérenne et à l'équilibre financier de collecte des déchets étant compliqué à atteindre pour les municipalités les plus pauvres (la barre se situe autour de 10€ / t de déchet solide collecté dans un pays comme le Maroc).

Mesure de diversion	Capitaux totaux installés (M\$)	OPEX annuels (M\$)	Horizon temporel	Efficacité de la réduction
Compostage	1.8	0.7	15	95%
Digestion anaérobie	16.9	1.7	20	95%
Traitement biomécanique	15.4	1.8	20	95%
Recyclage du papier	34.9	8.9	20	95%
Déchet énergie	165.7	8.0	20	100%

Tableau 13 : Types de mesures d'évitement des émissions de méthane dans les décharges (EPA, 2012)

Il faut en effet dire que la gestion des déchets est coûteuse, ce qui en fait une activité difficile à mettre en place par les collectivités des pays en développement<sup>74</sup>. Il est donc naturel de constater que la plupart des projets financés par l'AFD dans ces pays ciblent en premier lieu la problématique de la collecte des déchets (au sein d'une approche intégrée qui prend en compte le fonctionnement de l'ensemble de la filière, adaptée au contexte organisationnel et qui s'appuie sur l'ensemble des acteurs et leviers disponibles) qui est un préalable indispensable à la mise en place de dispositifs à plus forte technicité.

- En Ouzbékistan l'AFD a concédé un prêt de 23M€ à la municipalité de Samarcande (complété par un don européen de 8M€) pour financer la modernisation de la gestion des déchets solides qui comprend un système de gestion intégrée allant de la rationalisation de la collecte et la mise en circulation d'une flotte de véhicules dédiés à la valorisation des déchets collectés à forte valeur commerciale et à la valorisation en bio-fuel des déchets stockés. Les ambitions techniques du projet sont importantes (bio-réacteurs, unité de traitement des lixivats, ...) dans une ville qui manque d'une culture de la gestion déchet. La viabilité de la démarche repose donc notamment sur le succès qu'auront les campagnes de sensibilisation et d'assistance technique prévues dans le projet, mais aussi sur la maîtrise technique et financière de la contrepartie locale. Des précédents projets aussi importants en termes de gap technologique ont échoué en raison notamment d'une prise en compte insuffisante du contexte social (acceptabilité du projet / présence de relais pérennes) et des questions de pérennité financière et de gouvernance du système.
- Le soutien apporté par l'AFD à la Jordanie en matière de gestion des déchets solides porte sur l'amélioration de la performance de sites de gestion des déchets (centres d'enfouissement technique et stations de transfert) et sur le renforcement des capacités institutionnelles en la matière, tant au niveau national que régional.

Il est par ailleurs difficile pour les grands opérateurs privés de trouver un business model rentable dans ces régions, d'autant plus si il est question d'implanter de la cogénération. En effet, dans un pays comme le Maroc la cogénération augmenterait considérablement les dépenses d'exploitation et les CAPEX par rapport au simple torchage (+48% tous les deux), déjà élevés par rapport à la situation de référence sans couverture. Si le coût total d'un projet (autour de 10€ / t de déchet sans prendre en compte les recettes obtenues par la vente de l'électricité) peut sembler élevée, il est aussi à mettre en relation avec les bénéfices attendus : outre les enjeux climatiques, ce genre de dispositifs a un intérêt vis-à-vis des politiques de santé publique et d'indépendance énergétique.

## EAUX USEES & ATTENUATION DU METHANE

Le traitement des eaux usées serait responsable de l'émission de 675 Mt CO<sub>2eq</sub><sup>75</sup> de méthane en 2010 (4% du méthane total émis), essentiellement en provenance de pays en voie de développement où le système

<sup>74</sup> Au sujet du financement des projets de collecte et de valorisation du biogaz issus des décharges, voir le très complet rapport de la World Bank : « *Financing Landfill Gas Projects in Developing Countries* » (2016)

<sup>75</sup> Ibid, p. 122

d'assainissement repose encore sur des systèmes anaérobies (fosses septiques, latrines, égouts et étangs à ciel ouvert) favorables au développement de bactéries méthanogènes.

Vu la croissance de ces émissions (+19% d'ici 2030), le secteur constitue un enjeu clé. Toutefois, l'abattement est rendu difficile vu la nature et le coût des investissements susceptibles d'atténuer les émissions : il s'agit pour l'essentiel de valoriser les boues d'épuration (via un process industriel du type de celui détaillé figure 34), dont le traitement aboutit principalement à deux produits : le méthane, utilisable pour la production d'énergie et les boues activées utilisables en agriculture (épandage).

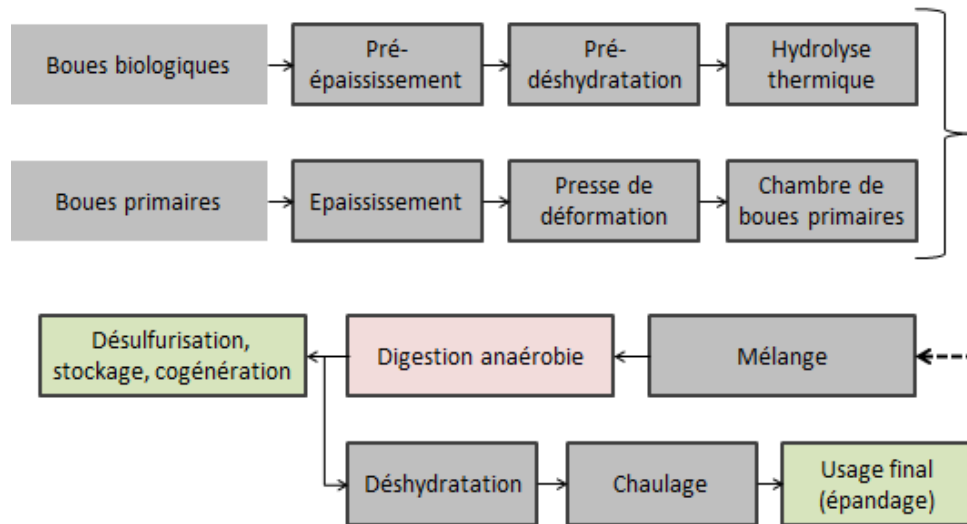


Figure 34 : Process industriel typique de traitement des boues d'épuration

En tout état de cause la problématique est la même que pour les déchets solides à savoir que le préalable essentiel que demeure la collecte centralisée ; au-delà plus on gagne en technicité et plus l'atténuation méthane est importante mais plus les coûts opérationnels et de capitaux augmentent. Ainsi dans des pays en développement qui manquent d'une culture de l'assainissement, le fossé à franchir pour atteindre des infrastructures très performantes vis-à-vis des émissions de méthane peut représenter un risque pour la pérennité des projets. Le besoin de soutien en termes de politique publique ou d'assistance technique externe est alors d'autant plus grand (voir figure 35).



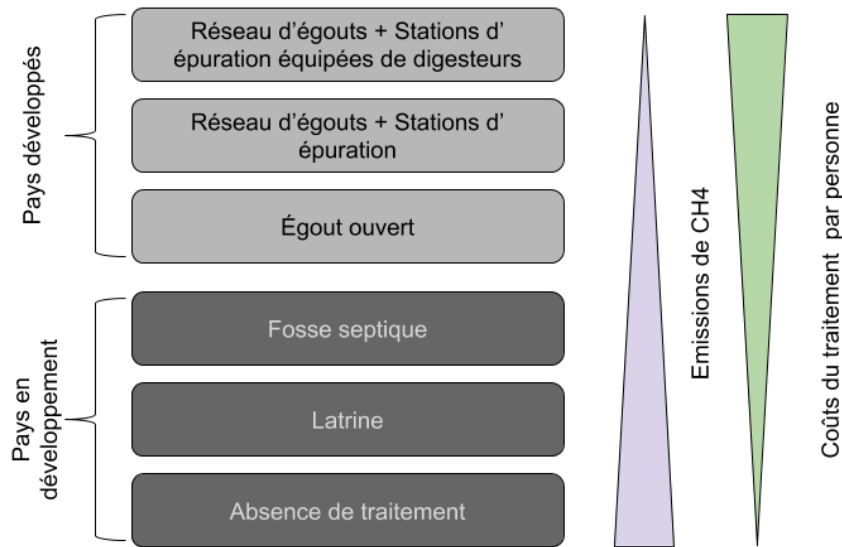


Figure 35 : Systèmes d'assainissement et émissions de méthane

Les exemples concrets de projet réussis au Sud ou en voie de l'être existent pourtant et témoignent de la possibilité d'envisager la construction d'infrastructures répondant de manière adéquate à l'enjeu des émissions de méthane.

- La station d'épuration d'As Samra en Jordanie est la plus grande du pays et fournit 10% de la ressource en eau du pays. Elle est équipée de turbines à gaz qui fonctionnent grâce au méthane issu de la biodigestion des eaux usées et qui lui permettent (en complément de turbines hydroélectriques) de satisfaire à 95% des besoins en énergie de la station. Par ailleurs, le méthane ainsi valorisé tous les ans (et donc non émis) correspond à entre 225 et 250 kt de dioxyde de carbone à 100 ans.
- Les stations d'épuration de la région de Santiago au Chili (Mapocho, El Trebal, La Farfana) sont équipées de digesteurs très modernes exploitant à plein le potentiel énergétique des boues de digestion. Ceci requiert l'installation de technologies (pour le mélange, l'hydrolyse...) optimisant la production de biogaz dans le digesteur grâce à des processus complexes.
- A Alexandrie, l'absence de solution pour le traitement des boues nuisait significativement à l'efficacité de la filière assainissement dans son ensemble. Le projet d'installation de digesteurs (technologiquement semblables aux précédents) dans la STEP d'Alexandrie Est répond donc non seulement à un objectif d'accroissement de l'autonomie énergétique de la STEP (chauffage, électricité) mais aussi à des objectifs sanitaires et environnementaux dans un contexte de sensibilité accrue à ces enjeux (faible disponibilité en eau, population concernée par l'impact environnemental de l'assainissement ...). Le coût de la chaîne de traitement des boues d'Alexandrie représente 95 M€ : on se situe donc ici très probablement en dessous de 10€ par tonne de dioxyde de carbone équivalent (sans compter les économies d'énergie réalisées ni celles de GES faites sur le transport des boues qui avait lieu avant le projet).

Il est possible d'atténuer les émissions dans le secteur des déchets à peu de frais mais il est parfois complexe de mettre en œuvre de telles mesures sur le terrain en raison des difficultés rencontrées par les opérateurs : seuils de rentabilité trop hauts, nécessité d'accompagnement par les pouvoirs publics (cadres réglementaires), accès aux capitaux ...

## DES EXEMPLES ILLUSTRATIFS DE REDUCTION DES EMISSIONS DE METHANE DANS LES PAYS D'INTERVENTION DE L'AGENCE

Ayant identifié les opportunités par secteurs d'atténuer le méthane, il s'agit désormais de questionner les engagements (INDC) des états vis-à-vis des émissions de méthane en devenir et de considérer des scénarios qui concilient réduction des émissions et ambitions des états dans les secteurs stratégiques de l'énergie, de l'agriculture et des déchets. Rappelons ici la nécessité, affichée lors de l'Accord de Paris et rappelée lors du dernier rapport du GIEC pour un monde à 1.5°C, d'aller vers une inflexion des émissions de GES respectivement à l'horizon 2070 et 2050 ; c'est cette nécessité qui justifie notre intérêt pour la sensibilité des engagements des parties prenantes à la variation du PRG.

### LE METHANE AU LAOS

#### VUE D'ENSEMBLE

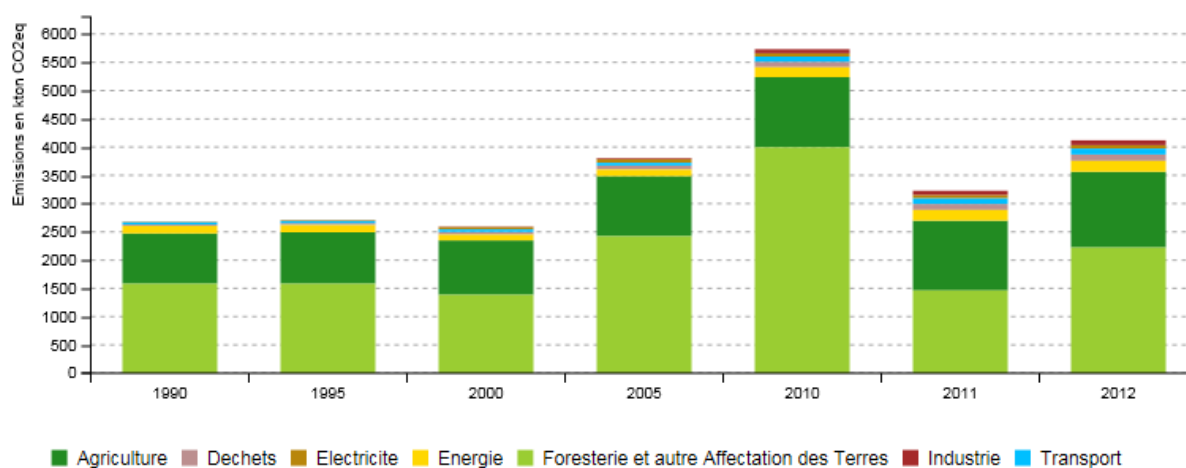
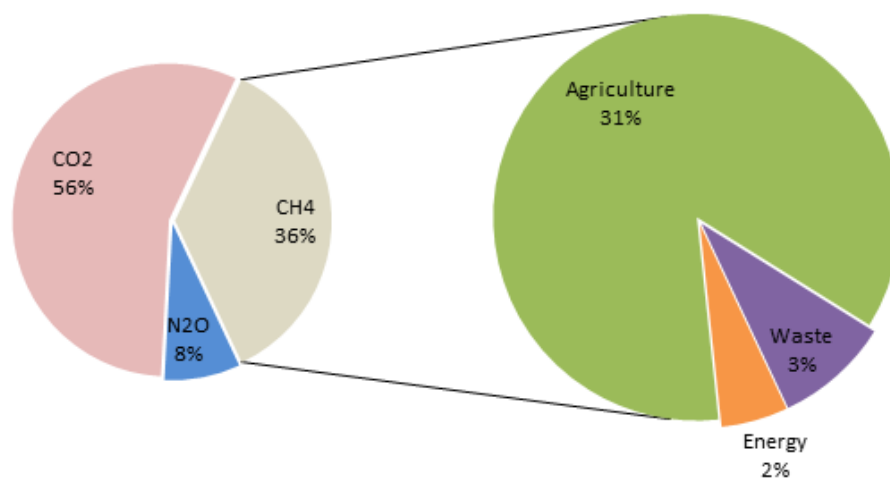


Figure 36 : Émissions historiques par secteur au Laos (EDGAR / FAO)

Le Laos étant un petit pays en développement, les données le concernant sont limitées : en particulier le seul inventaire des émissions disponible s'arrête en 2000 (les données présentées ci-dessus pour l'essentiel de la base de données EDGAR qui procède uniquement de calculs).

On constate sur la figure 36 que, la forêt exclue, le premier poste d'émission de GES (environ les 2/3) concerne l'agriculture, ce qui n'est pas étonnant puisque l'agriculture laotienne représente 50% de son PIB. Pour l'essentiel, les émissions de méthane proviennent du méthane entérique (4,5 Mt CO<sub>2eq</sub>) et rizicole (4 Mt CO<sub>2eq</sub>).

## Laos 2012 - Répartition des émissions par GES



Secteur	Sous-secteur	kton CH4
Agriculture	Fermentation entérique	4 455
	Gestion du lisier	611
	Riziculture	3 978
	Combustion de déchets agricole	346
Energie	Production publique (électricité et chaleur)	0
	Industries manufacturières & construction	2
	Résidentiel & autres	446
	Emissions fugitives de combustibles solides	67
	Emissions fugitives (gaz et pétrole)	159
Déchets	Déchets solides	217
	Assainissement	938
	Incinération de déchets ménagers	5

Figure 37 : Poids du méthane dans le bilan laotien et sous-secteurs associés (EDGAR)

Le secteur de l'énergie (hors bois) est marqué par un poids important de l'électricité, produite essentiellement par des barrages hydroélectriques (la mise en service en 2017 de la centrale à charbon de Hongsa viendra probablement changer le profil du mix électrique / d'émissions dans les années à venir). Cette électricité est largement exportée dans les pays voisins pour une contribution s'élevant à 20% du PIB et constitue donc un enjeu stratégique pour le Laos ; c'est également une importante source de méthane (rappelons qu'un barrage comme ceux de Nam Leuk ou Nam Ngum émet dans des quantités comparables à une centrale à gaz de puissance équivalente) qui tarde encore à être reconnue dans les bilans et qui est donc absente de ce bilan.

Les émissions de GES en lien avec les combustibles fossiles excèdent à peine 2 Mt CO<sub>2eq</sub> en raison d'un important secteur bois-énergie qui explique en outre l'importance du LUCF (18 Mt CO<sub>2</sub>) dans le bilan laotien.

La gestion des déchets demeure une source d'émissions marginale au Laos, mais les eaux usées émettent plus d'1 Mt CO<sub>2eq</sub> de méthane chaque année (voir figure 37).

## SENSIBILITE AU PRG

Vu la prédominance du méthane dans le bilan laotien, il n'est pas étonnant de voir sa sensibilité à l'horizon de temps considéré. L'utilisation d'un PRG à 20 ans permet de souligner l'intérêt d'une approche à court-terme de réduction des émissions de méthane (qui devient avec 61% des émissions le 1<sup>er</sup> gaz à effet de serre) en particulier dans le secteur agricole, le premier émetteur derrière le LUCF.

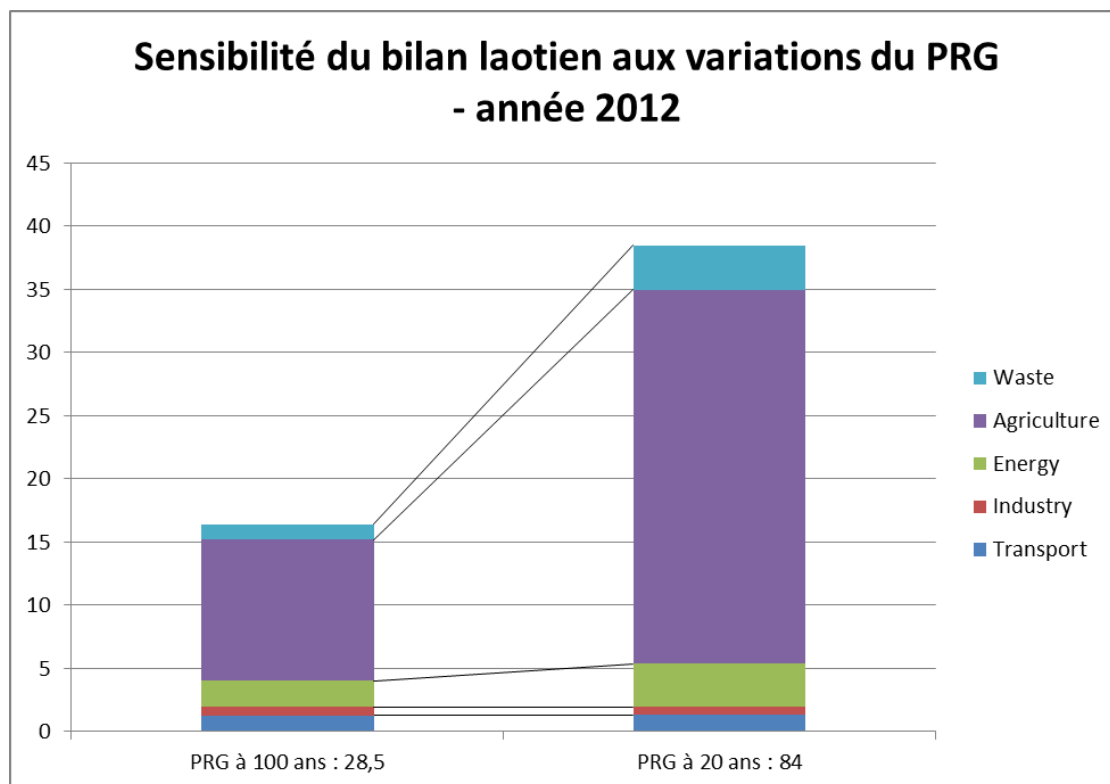


Figure 38 : Bilan des émissions laotiennes à différents PRG (données EDGAR sans UTCTAF)

## TRAJECTOIRES « BAS-METHANE » AU LAOS

Si le PIB/habitant du Laos est supérieur à celui de la plupart de ses voisins immédiats (Cambodge, Viet Nam, Birmanie), là-bas plus qu'ailleurs les projets d'atténuation ne doivent pas être contre-productifs vis-à-vis des objectifs de croissance économique.

Il est intéressant de constater que comme souvent ailleurs, la question du méthane n'est pas abordée spécifiquement par l'INDC laotienne, ce qui conduit inévitablement à rater des opportunités considérables d'atténuation des émissions. On constate pourtant que les voies possibles d'atténuation vont systématiquement dans le sens des besoins de développement des Etats, notamment dans le secteur agricole. Une attention particulière à la question des émissions de méthane s'insérerait donc parfaitement dans la stratégie climatique laotienne qui choisit de « mettre la priorité sur les actions d'atténuation qui ciblent les principales causes d'augmentation des émissions et offrent en même temps des co-bénéfices significatifs en termes de développement ».

## REDUIRE L'INTENSITE METHANE DE L'AGRICULTURE LAOTIENNE PAR L'INTENSIFICATION

La question agricole à proprement dite est surtout abordée dans le volet adaptation de l'INDC et semble absente de la stratégie laotienne en termes d'atténuation. L'agriculture constitue pourtant le premier poste

d'émission de méthane d'un pays où élevage et riziculture sont les principaux contributeurs en termes d'émissions de GES.

Encourager l'intensification dans un pays où la paysannerie souffre de la rude concurrence sur les marchés internationaux de matières premières agricoles, n'est pas nécessairement une idée saugrenue. L'introduction et la diffusion de systèmes rizicoles intensifs qui incluent souvent des pratiques d'irrigation alternée répond en effet à la fois à un objectif de hausse des rendements et des revenus agricoles dans des cultures vivrières traditionnelles et à la nécessaire diminution de l'intensité en méthane de la production (de l'ordre de 30 à 70% des émissions).

---

#### L'ELECTRIFICATION AU LAOS DOIT FAIRE L'OBJET D'UNE ATTENTION PARTICULIERE

Le Laos affiche dans son INDC une ambition d'électrification rurale (déjà en bonne voie et plus freinée par le coût du réseau que par celui de la production) et surtout d'export d'électricité soutenue par l'expansion de sa capacité hydroélectrique (pour atteindre plus de 25 500 MW installés après 2020). Dans une zone tropicale comme le Laos, l'inondation des sols avant barrage peut engendrer l'émission (principalement pendant les premières années d'exploitation) de larges quantités de méthane : au total, la quantité de CO<sub>2eq</sub> émise par kWh produit dans certains barrages tropicaux comparables (comme le montre l'exemple de Petit-Saut) est supérieure à celle d'un combustible fossile, au moins pendant les 50 premières années de vie de l'infrastructure.

Un tel constat n'invite pas nécessairement à reconsidérer l'éventualité de soutenir la construction de ces barrages mais demande qu'on étudie la question de ces émissions en amont et qu'on envisage à ce sujet toutes les possibilités d'atténuation : travail sur le dimensionnement (en fonction des reliefs, il est possible de maximiser le rapport capacité / surface) déforestation préalable (susceptible de diminuer au maximum de 10% le stock de matière organique dégradée en méthane), oxygénation des eaux entrantes dans le lac de réserve (annulant en partie l'activité des bactéries méthanogènes) ...

---

#### L'EMERGENCE D'UN SUJET ASSAINISSEMENT AU LAOS

Concernant les émissions liées au secteur des déchets (du point de vue méthane, le traitement des eaux usées en est ici le principal sujet), il faut d'abord noter le manque cruel d'infrastructures, de réglementation et de services de maintenance des ouvrages d'assainissement existant dans un pays qui utilise majoritairement au mieux des fosses septiques. La construction fin 2017 d'une station de traitement des boues à Vientiane témoigne, malgré les nombreuses contraintes (réglementaires, financières ...) de la possibilité de mettre en place ce type d'infrastructures et de filières de valorisation qui, en plus de constituer un levier d'atténuation des émissions de méthane, apporte une réponse aux enjeux sanitaires d'une ville relativement densément peuplée.

---

#### CONCLUSIONS

Le Laos présente de nombreuses opportunités d'atténuation concernant les émissions de méthane. En plus de constituer un levier intéressant au regard de sa stratégie climatique, la gestion de ce GES offre de nombreux co-bénéfices compatibles avec les objectifs laotiens de développement.

## VUE D'ENSEMBLE DES EMISSIONS DE GES PAR SECTEUR

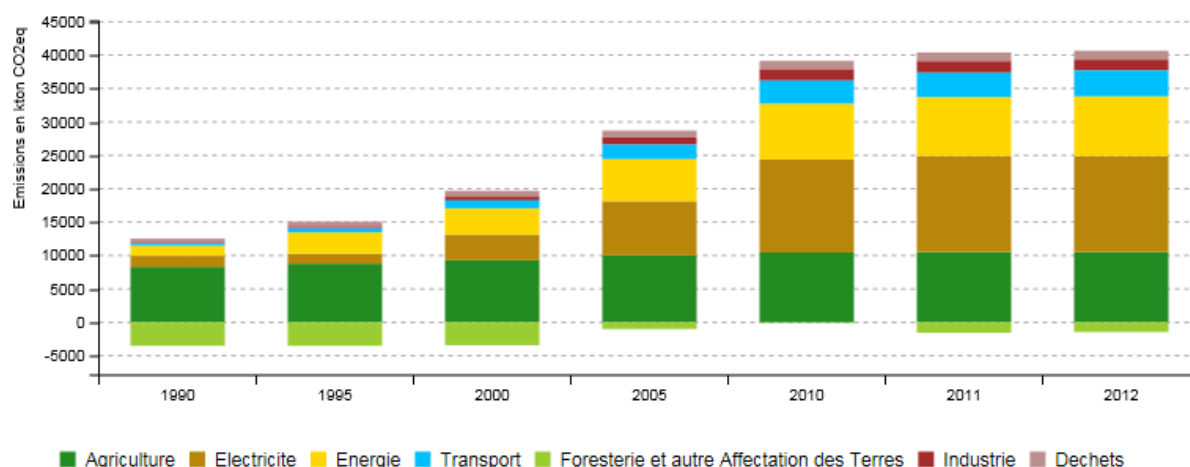


Figure 39 : Émissions historiques de GES du Vietnam (EDGAR, FAO)

Entre 1990 et 2015, les émissions globale du secteur énergétique vietnamien ont été multipliées par 10 essentiellement sous l'effet d'une hausse massive de la production d'électricité à partir de charbon (+795%), et de gaz (de 0 à 9.1Mtep, soit 13% de la production d'énergie primaire du pays). En parallèle, on observe une explosion de la demande dans le secteur des transports et en conséquence de la demande en pétrole (+526%)<sup>76</sup>.

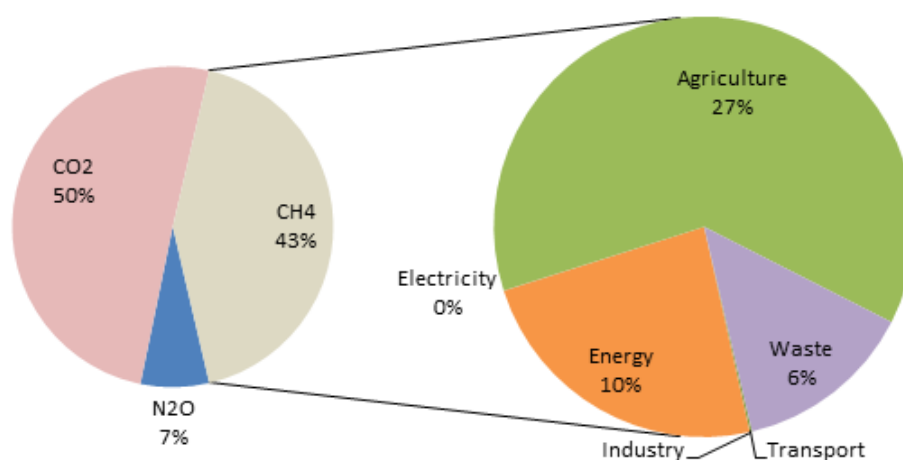
Sur cette même période, l'augmentation des surfaces agricoles et de la production s'est traduite par un triplement des émissions de GES, alors que la population n'a augmenté que de 20% (passage d'une agriculture vivrière à une agriculture d'exportation). Si le Vietnam est un grand exportateur de café et de denrées non-alimentaires, c'est surtout la riziculture et dans une moindre mesure l'élevage (augmentation du cheptel bovin tirée par la consommation des urbains plus aisés) qui sont problématiques du point de vue des émissions de méthane (69 MtCO<sub>2eq</sub> en 2012).

La gestion des déchets, bien que marginale dans le total des émissions, représente 6% des émissions de GES au Vietnam. Le sujet principal est celui de l'assainissement et du traitement des eaux usées (14,4 MtCO<sub>2eq</sub>) dans un pays où, malgré les progrès réalisés en la matière, 22% de la population n'utilise pas d'installations d'assainissement améliorées.<sup>77</sup>

<sup>76</sup> Voir IEA, disponible à <https://www.iea.org/countries/non-membercountries/vietnam/>

<sup>77</sup> Voir OMS, disponible à <http://www.who.int/features/2015/viet-nam-water-sanitation/fr/>

## Viet Nam 2012 - Répartition des émissions par gaz



Secteur	Sous-secteur	kton CH4
Agriculture	Fermentation entérique	481
	Gestion du lisier	170
	Riziculture	1 985
	Combustion de déchets agricole	97
Energie	Production publique (électricité et chaleur)	2
	Industries manufacturières & construction	7
	Résidentiel & autres	156
	Emissions fugitives de combustibles solides	623
	Emissions fugitives (gaz et pétrole)	248
Déchets	Déchets solides	92
	Assainissement	515
	Incinération de déchets ménagers	2

Figure 40 : Poids du méthane dans le bilan vietnamien et sous-secteurs associés (EDGAR)

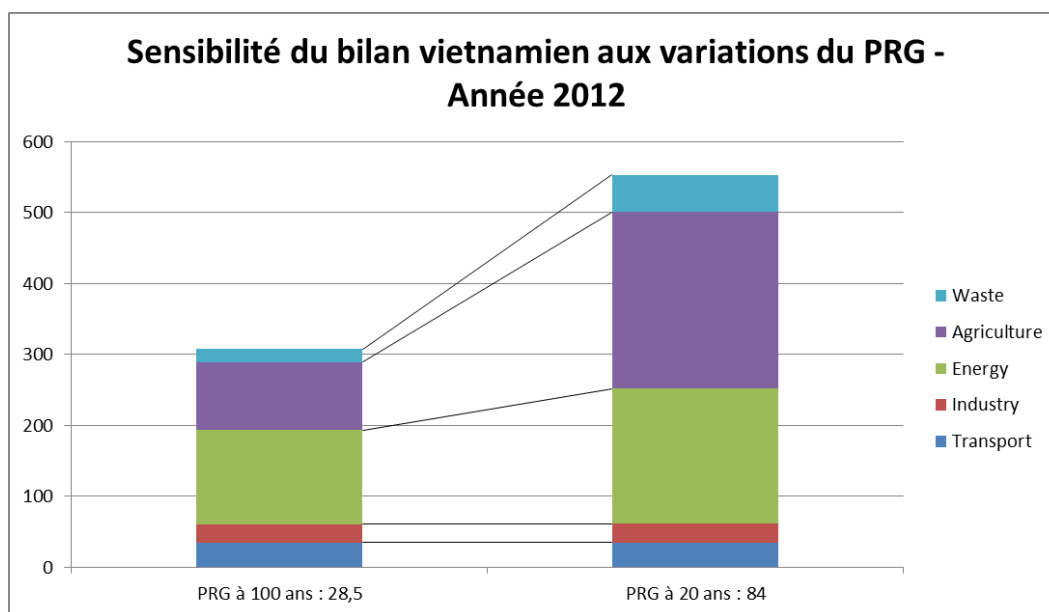


Figure 41 : Bilan vietnamien à différents PRG (données EDGAR sans LUCF)

La question du méthane affecte sensiblement la répartition des émissions vietnamiennes, qui deviennent essentiellement agricoles lorsqu'on passe à un PRG à 20 ans et ce malgré la présence d'un important secteur énergétique (charbon) ; ceci témoigne de la pertinence d'une approche à court et moyen-terme d'atténuation des émissions rizicoles.

## REDUIRE LES EMISSIONS DE METHANE VIETNAMIENNES

### LA RIZICULTURE OFFRE DE GRANDES OPPORTUNITES D'ATTENUATION

Pour l'INDC vietnamienne, 21.9 Mt CO<sub>2eq</sub> (ou 30 Mt CO<sub>2eq</sub> avec un PRG à 28.5) pourraient être abattus en améliorant l'efficacité des systèmes d'irrigation via la mise en place de pratiques de drainage (voir tableau 8) dans le delta du Fleuve Rouge (la seconde région rizicole du Vietnam) pour un coût total estimé à 128 millions de dollars<sup>78</sup> (soit 4.2 \$ / tonne de dioxyde de carbone abattus avec un PRG à 28.5).

Dans le même ordre d'idée, l'IRRI estimait en 2015<sup>79</sup> que l'implémentation du SRI et de l'irrigation alternée (voir figures 13 & 14) dans 5 millions d'hectare répartis sur les deltas du Fleuve Rouge et du Mékong pourrait permettre d'abattre 26 Mt CO<sub>2eq</sub> tout en satisfaisant à l'objectif de croissance des rendements agricoles.

En raisonnant sur des PRG actualisés (et à fortiori sur des PRG à 20 ans), cette option devient l'option (hors secteur de la forêt) avec le plus gros potentiel d'abattement du pays, devant la modernisation des poêles à charbon (« seulement » 25.3 Mt CO<sub>2eq</sub>). Leurs coûts positifs (alors que les options dans le secteur de l'énergie sont souvent à coûts négatif) reste toutefois un obstacle au développement à grande échelle de pratiques agricoles climato-intelligente.

<sup>78</sup> NDC du pays

<sup>79</sup> IRRI, "Applying and scaling up alternate wetting and drying technology for paddy rice in the Mekong River Delta." (2015), disponible à : [https://fr.slideshare.net/wle\\_cgjar\\_media/applying-awd-in-vietnam](https://fr.slideshare.net/wle_cgjar_media/applying-awd-in-vietnam)



## L'INTERET DES PROPOSITIONS DANS LE SECTEUR DE L'ENERGIE POURRAIT ETRE SURESTIME

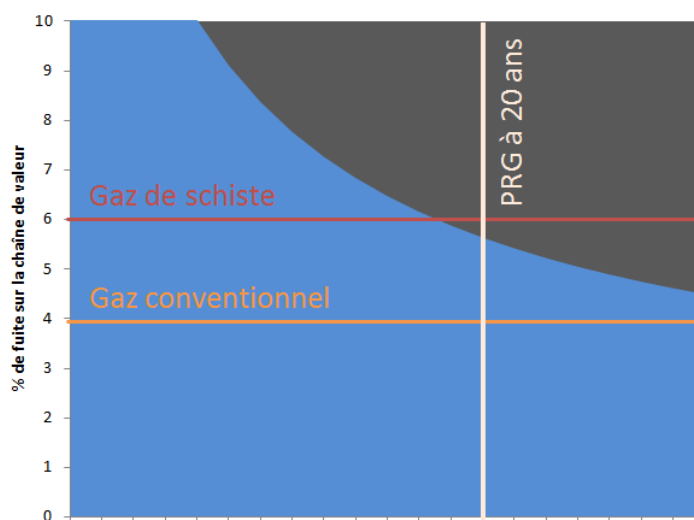
Dans les autres pistes explorées par la communication nationale vietnamienne figure en bonne place le remplacement de centrales à charbon (à 25% d'efficacité) par des centrales thermiques à gaz simple cycle (35% d'efficacité) utilisant du LNG importé.

Ceci est censé offrir un potentiel d'atténuation équivalent à 16 Mt de CO<sub>2</sub> à un coût de 15.1\$/tCO<sub>2</sub>

Dans ce scénario, une telle mesure n'aurait d'intérêt significatif en termes d'émissions de GES à 20 ans que si le pourcentage de fuites de méthane le long de la chaîne de valeur n'excède pas 5% (ce qui correspond à la valeur moyenne estimée par Howarth et al., 2011

pour du gaz conventionnel). Au-delà de cette valeur, les émissions de ces deux combustibles sont comparables sur l'intégralité de leur cycle de vie et le remplacement des centrales à charbon par des centrales à gaz de ce type n'a pas d'intérêt du point de vue de l'atténuation des émissions du secteur de l'énergie (et quoiqu'il en soit, plus on se rapproche de cette valeur et plus le coût d'abattement augmente).

L'intérêt en termes d'impact sur le climat augmente si l'on envisage comme scénario le passage à des centrales à gaz type CCGT, à l'efficacité supérieure.



## ASSAINISSEMENT ET DECHETS SOLIDES AU VIETNAM

Une spécificité du Viet Nam est que le secteur de l'assainissement émet plus de méthane que celui de l'élevage ; l'opportunité de cibler ce secteur est d'autant plus grande qu'Hanoï s'est récemment engagé dans une démarche d'investissement massive dans sa capacité d'assainissement : tout progrès fait en la matière est susceptible d'atténuer les émissions par rapport à une situation sans traitement des eaux usées (lagunes, égouts ouverts, latrines ...) qui est extrêmement émissive en méthane.

L'implémentation de dispositifs industriels de collecte et de valorisation du biogaz très poussés semble difficilement envisageable dans les décharges et stations d'épuration vietnamiennes en devenir. Toutefois, l'encouragement de démarches dites d'atténuation « par évitement » (tri, compostage, ...) offre dans des pays comparables des résultats très satisfaisants en matière de réduction des émissions de méthane des déchets solides ; ceci est d'autant plus vrai que la problématique sur les déchets solides (pollution des océans) est très saillante en Asie du Sud-Est.

## CONCLUSIONS

Le sujet méthane au Vietnam porte essentiellement sur la riziculture qui est de très loin le secteur le plus émissif du pays et où les opportunités d'atténuation, immenses, répondent aux ambitions du pays en allant dans le sens d'une augmentation significative de la production de riz. Il ne faut pas pour autant délaissier les secteurs de l'énergie et de la gestion des déchets dans lesquels les émissions de méthane à venir demandent à être traitées.

## LE METHANE EN COLOMBIE

Le méthane constitue un sujet sensible en Colombie, où il représente une part très significative des émissions et pour lequel il existe d'importantes divergences en termes d'évaluation. La prise en compte de ce sujet vient profondément affecter la compréhension qu'on peut avoir des émissions à venir dans le pays.

### VUE D'ENSEMBLE

Nos calculs présentés figure 43 sur la base des données d'EDGAR aboutissent à des résultats supérieurs à ceux de la NDC colombienne qui choisit notamment de retenir les PRG du GIEC de 1995 (21 au lieu de 28.5). En particulier, le chiffre des émissions liées à l'agriculture et au LUCF diffère beaucoup (presque du simple au double, voir figures, la variation s'expliquant probablement par les modalités de calcul et d'étalement dans le temps de l'impact du LUCF qui s'arrête brusquement après 2010 dans les tables de la FAO).

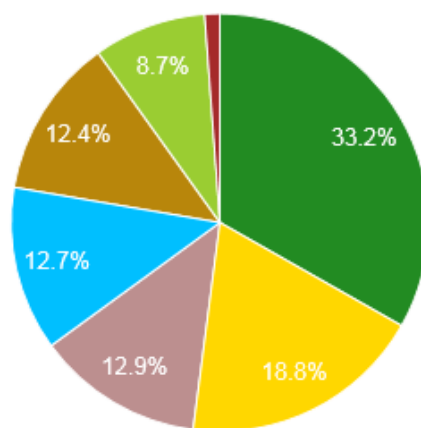
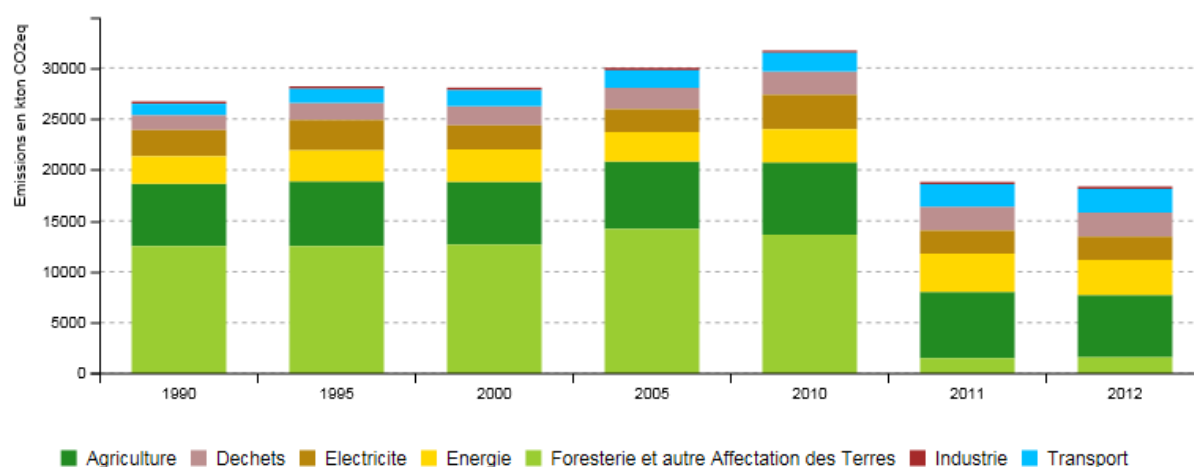


Figure 43a : Émissions historiques tous GES confondus (LUCF compris) en Colombie (données EDGAR et FAO)

b : Répartition par secteur des émissions de GES en 2012

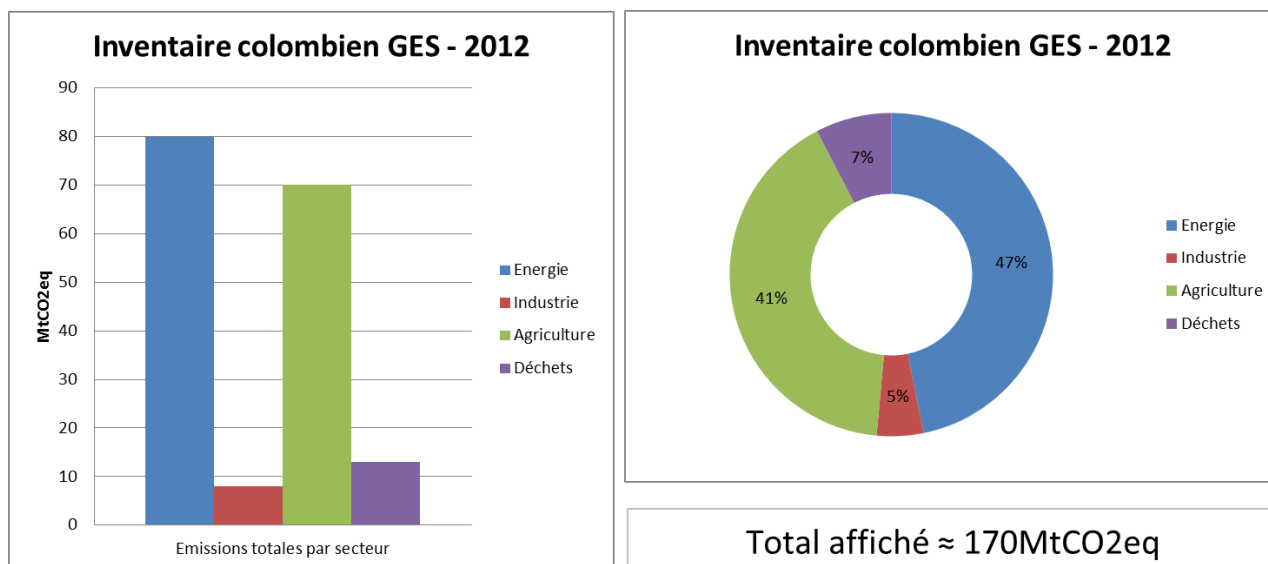


Figure 44a : Émissions de GES en 2010 d'après la NDC colombienne (IDEAM, 2015) ; PRG du méthane : 21

b : Répartition par secteur des émissions colombiennes en 2012 (IDEAM / PNUD, 2017<sup>80</sup>)

Dans la base de données EDGAR, l'agriculture représente l'essentiel des émissions colombiennes de GES (même si son poids devient moindre après 2010), à peu près à part égale avec le secteur de l'énergie. Les émissions de GES liées aux secteurs de l'industrie et de l'assainissement sont marginales dans le contexte colombien.

Contribution de chaque GES en 2012 (%)

	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O
NDC Colombie (PRG = 21)	63	27	10
Δ NDC / EDGAR (voir fig.18)	+15	-15	0

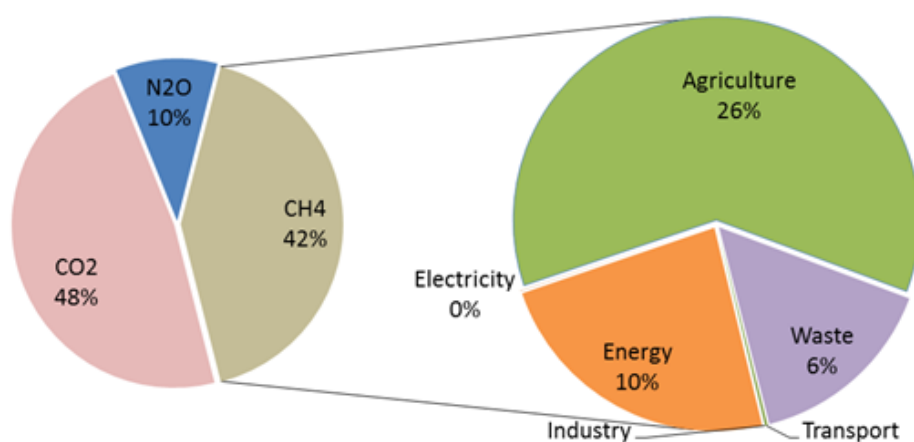
Tableau 14 : Différences entre émissions annoncées (NDC colombiennes) et calculées (EDGAR)

Dans la répartition des émissions colombiennes, les GES non-dioxyde de carbone sont, d'après la base de données EDGAR, majoritaires et le méthane représente à lui seul 73,6 Mt CO<sub>2</sub>eq à 100 ans. Pourtant, les inventaires colombiens (y compris les plus récents<sup>81</sup>) utilisent toujours le PRG du méthane « Kyoto » (qui est de 21 à 100 ans) ce qui conduit à minimiser largement (de l'ordre de 15% comme montré dans le tableau 15) la contribution de ce gaz au bilan carbone de la Colombie.

<sup>80</sup> Resumen ejecutivo Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (2017). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

<sup>81</sup> Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (GEI) de Colombia. Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático de Colombia (2015) IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM, p.7.

## Répartition des émissions de GES en Colombie 2012



Secteur	Sous-secteur	kton CH4
Agriculture	Fermentation entérique	1 505
	Gestion du lisier	40
	Riziculture	107
	Combustion de déchets agricole	12
Energie	Production publique (électricité et chaleur)	1
	Industries manufacturières & construction	1
	Résidentiel & autres	30
	Emissions fugitives de combustibles solides	216
	Emissions fugitives (gaz et pétrole)	398
Déchets	Déchets solides	165
	Assainissement	254
	Incinération de déchets ménagers	1

Figure 45 : Poids du méthane dans le bilan colombien et sous-secteurs associés (EDGAR)

L'essentiel de ce méthane a pour origine l'agriculture, un secteur stratégique marqué en Colombie par un élevage très important. Cela ne doit pas faire oublier les secteurs de l'énergie (un quart des émissions de méthane) ou la gestion des déchets.

**Sensibilité du bilan colombien aux variations du PRG -  
Année 2012**

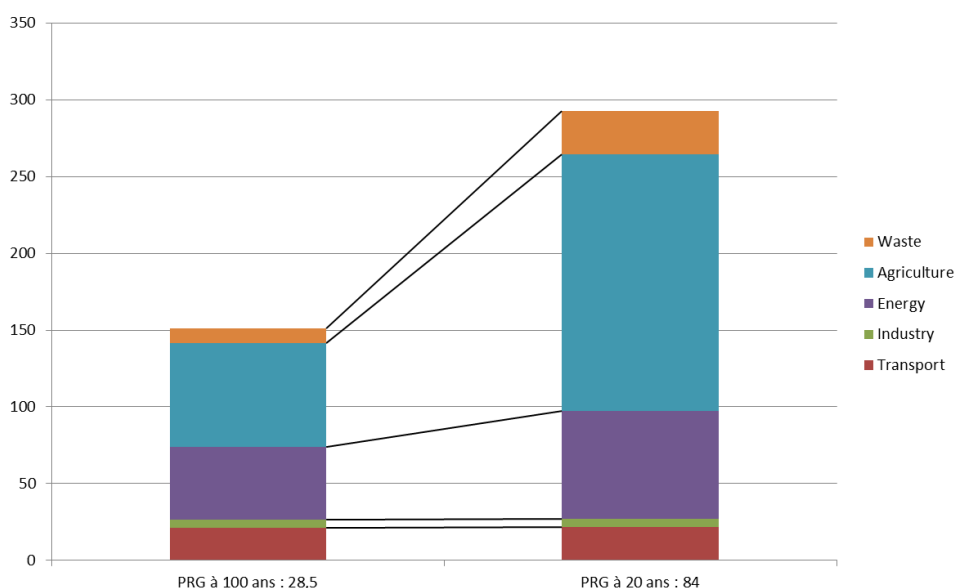


Figure 46 : Bilan des émissions colombiennes en 2012 à différents PRG (données EDGAR sans LUCF)

Les émissions colombiennes de 2012 sont réévaluées à la hausse (presque multipliées par 2) lorsqu'on raisonne avec le PRG à 20 ans. Ce sont sans surprise les secteurs les plus émissifs en méthane (agriculture, énergie, déchets) et donc les plus affectés par un déplacement du curseur temporel qui sont responsables de la hausse.

En prenant le PRG à 20 ans, le secteur agricole devient le plus émissif (alors qu'il était second derrière le poste « Energie + Transport ») ce qui confirme a priori l'intérêt de mener des politiques d'atténuation des émissions liées à l'élevage bovin colombien dans le cadre d'objectifs à court et moyen-terme.

REDUIRE LES EMISSIONS DE METHANE COLOMBIEN

L'ELEVAGE COLOMBIEN

Pour les raisons déjà évoquées plus haut, le poids de l'élevage bovin (« ganaderia » dans la figure) dans les émissions colombiennes est largement minimisé. Ainsi, si l'on reprend l'inventaire bovin annoncé par la communication nationale<sup>82</sup> et qu'on considère qu'un bovin émet 72 kg de méthane par an, c'est plus d'1,5 Tg de méthane (soit 45 Mt CO<sub>2eq</sub> à 100 ans ou 130 Mt CO<sub>2eq</sub> à 20 ans) qui a été relâché dans l'atmosphère par le cheptel colombien en 2014.

Notons, que, comme évoqué plus haut l'utilisation de méthodologies Tier 2 pourrait donner des valeurs plus proches de la réalité. Toutefois, ceci nécessiterait des inventaires détaillés, notamment par classe d'âge du cheptel bovin, difficilement réalisables dans la réalité.

Le gouvernement colombien s'est inscrit dans une démarche de réduction des GES d'origine bovine via une NAMA qui s'intéresse en particulier à la question de l'intensification de l'élevage (dans un pays où l'élevage

<sup>82</sup> Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (2017). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

est déjà relativement intense) et de la valorisation du fumier et du méthane. Toutefois, aucune évaluation de l'abattement potentiel de ces mesures n'a été fournie.

La littérature<sup>83</sup> indique toutefois que le passage à des systèmes sylvo-pastoraux intensifs (comme le propose la NAMA colombienne sur 1% des terres d'élevage) associé à l'introduction dans le régime alimentaire de végétaux comme le mimosa en Colombie permet de réduire de 15% les émissions de méthane entérique (sur la surface envisagée par la NAMA colombienne, cela correspond environ à 80 ktCO<sub>2eq</sub><sup>84</sup> de méthane avec un PRG de 28.5 pour la seule fermentation entérique atténuée ; le sylvo-pastoralisme incluant par ailleurs la séquestration de larges quantités de dioxyde de carbone).

De manière générale, vu la taille du cheptel colombien le moindre gain en terme d'intensité-méthane (permise ou non par une intensification de l'élevage) par tête de bétail aurait un impact considérable : tout projet allant dans ce sens est donc à étudier.

---

## LE SECTEUR ENERGETIQUE COLOMBIEN ET LES EMISSIONS DE METHANE

Malgré son objectif de réduire de 20% les émissions de GES du secteur, la Colombie exporte massivement son charbon (93% des volumes extraits et donc non comptabilisés au niveau national) et consomme largement son gaz naturel (95% de la production). L'exploitation des réserves d'hydrocarbures constitue un important poste d'émissions qui va aller croissant : il est donc essentiel que les nouvelles infrastructures de forage et de transport (dans un pays qui compte déjà plus de 2000 km d'oléoducs et dont les réserves exploitables se situent dans des zones de plus en plus reculées) prévues soient les plus performantes possibles vis-à-vis des émissions fugitives, déjà responsables de plus de 11 Mt CO<sub>2eq</sub>.

Le secteur pétrolier est également éminemment stratégique pour l'économie colombienne (entre 30 et 40% des exportations, 6% du PIB<sup>85</sup>) qui en est très dépendante (cf. l'importante récession / dévaluation du pesos colombien qui a suivi la chute des cours du brut en 2015) ; les évolutions récentes de la législation et de la politique libre-échangiste du pays témoignent de son ambition à continuer de s'affirmer comme une puissance pétrolière malgré l'incertitude portant sur la disponibilité des réserves naturelles d'hydrocarbures.

Pour tenir son objectif de réduction des émissions de GES, la Colombie compte beaucoup sur l'hydroélectricité (qui représente déjà 70% de sa capacité électrique installée avec de nombreux barrages parmi les plus grands du monde). Les projets de barrages (125 au total pour une capacité prévue de 5600 MW, concentrés essentiellement dans la région tropicale du bassin du Rio Magdalena peut représenter une importante source d'émissions de méthane des années à venir (rappelons ici le risque, présenté plus haut, d'émissivité des barrages dans ces géographies).

---

## METHANE ET DECHETS EN COLOMBIE

L'enjeu porte aujourd'hui sur le traitement des eaux usées responsable chaque année de l'émission de 7 Mt CO<sub>2eq</sub> de méthane à 100 ans ; l'opportunité est d'autant plus grande que les projets de stations d'épuration sont nombreux dans le pays et que le pays est déjà muni d'un réseau de gaz bien équipé.

---

<sup>83</sup> Rivera, J. E., et al. "Dinámica de fermentación y producción in vitro de metano en dietas de sistemas silvopastoriles intensivos con *L. leucocephala* y sistemas convencionales orientados a la producción de leche." *Livestock Research for Rural Development* 27.4 (2015): 1-15.

<sup>84</sup> Surface couverte par le NAMA \* Densité de l'élevage colombien \* 15% du facteur d'émission \* PRG

<sup>85</sup> Tercera Comunicación Nacional De Colombia a La Convención Marco De Las Naciones Unidas Sobre Cambio Climático (CMNUCC). Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático (2017). IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERÍA, FMAM. Bogotá D.C., Colombia.

La relative pauvreté de la Colombie par rapport aux pays limitrophes ne semble pas plaider en faveur de dispositifs, coûteux, de collecte et de valorisation du biogaz issus des déchets comme on peut en trouver à Santiago. L'expérience prouve cependant leur faisabilité technique et économique y compris dans les capitales de pays au PIB/habitant comparable, voire plus pauvres (Jordanie, Egypte). Le facteur déterminant semble la volonté politique / le levier incitatif qu'il s'agit de trouver dans un pays où la ressource en eau est relativement abondante.

En tout état de cause, s'il est compréhensible que la nécessité de trouver des sources alternatives (biogaz) se fasse peu sentir dans un pays qui dispose déjà d'importantes ressources de gaz naturel il faut souligner l'intérêt de telles démarches à la fois du point de vue de l'autonomie énergétique, des co-bénéfices importants que génère la gestion des déchets et de l'atténuation des émissions de méthane.

---

## CONCLUSIONS

La Colombie est un pays où l'enjeu des émissions de méthane est, du fait de l'importance de l'élevage et de la nature de son secteur énergétique dans son économie, plus important qu'ailleurs. Au vu de la stratégie de développement du pays, il paraît urgent de questionner et d'atténuer les émissions de méthane colombiennes en devenir en particulier lorsque les solutions apportées sont susceptibles de créer de la valeur (réduction des pertes de gaz naturel, intensification de la production, économies d'énergie ...) et d'engendrer d'autres co-bénéfices (sur la biodiversité, les conditions d'hygiène ...).

## CONCLUSIONS POUR L'ACTION

La question des émissions de méthane est un enjeu transverse au même titre que celle de l'atténuation du dioxyde de carbone. Elle peut faire l'objet de solutions pérennes, rentables et efficaces à court terme en plus d'être gagnantes sur plusieurs tableaux :

Les progrès possibles en termes de performance de l'élevage bovin et de la riziculture vont dans le sens d'une diminution de l'intensité méthane de ces productions. Sécurité alimentaire et atténuation des émissions de méthane sont deux objectifs conciliables grâce à la diffusion de pratiques et de technologies climato-intelligentes.

Dans le domaine de l'énergie, la question du méthane peut modifier les perspectives communément admises sur l'émissivité des différents modes de production d'électricité. Il reste que des solutions rentables existent et sont potentiellement faciles à mettre en place dans un secteur où les acteurs, bien connus et organisés, sont très concentrés et bien capitalisés. L'hydroélectricité constitue quant à elle une solution propre le plus souvent mais la prise en compte du méthane, à fortiori sur des horizons de temps courts, soulève des points de vigilance pour le cas - minoritaire mais pas anecdotique du tout dans les géographies d'intervention de l'Agence – des barrages tropicaux et sub-tropicaux à faible capacité surfacique. Un tel constat invite à envisager, via la prise en compte de ces nouvelles variables, des stratégies d'optimisation et de développement qui sortent du référentiel habituel de maximisation du productible sous contrainte du coût d'investissement.

La gestion des déchets ménagers et de l'assainissement offre des opportunités d'atténuation potentiellement rentables dans des pays déjà murs sur ces enjeux avec un cadre réglementaire solide. La valorisation du biogaz émis par ce secteur répond également à des objectifs sanitaires et de sécurisation de l'approvisionnement énergétique.

Au Sud, la prise en compte du méthane vient donc profondément changer les perspectives dans les secteurs stratégiques du développement :

En Asie du Sud-Est, elle invite à reconsidérer notre approche de la riziculture et souligne l'intérêt croissant du développement des énergies renouvelables (hors hydroélectricité) pour satisfaire aux besoins d'électrification.

En Colombie, la problématique méthane met en lumière la nécessité d'engager une réflexion sur les modes d'élevage et d'exploitation des ressources fossiles qui peuvent s'intégrer dans des trajectoires moins émettrices en carbone.

La maîtrise des émissions du méthane passe d'abord par une bonne connaissance de l'impact de ce gaz à effet de serre, ce qui passe par l'adoption de métriques et de méthodologies de comptabilité appropriées, adaptées aux horizons de temps sur lesquels se fonde l'Accord de Paris. En effet, si toutes les solutions évoquées font sens vu les co-bénéfices qu'elles apportent en termes de développement, les considérer sérieusement suppose de se positionner dans un référentiel où le méthane revêt sa véritable valeur.

Au-delà de la dimension technique de l'atténuation des émissions de méthane se posent dans tous les cas la question de la faisabilité économique et de l'acceptabilité sociale des opportunités de projet identifiées ; la nécessité, partout reconnue, d'une action collective en la matière impose une réflexion qui ne saurait faire l'économie de la question des instruments de politiques publiques à mettre en place.