



Commission économique pour l'Europe

Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance

Groupe de travail des stratégies et de l'examen

Soixante et unième session

Genève, 4-6 septembre 2023

Point 2 de l'ordre du jour provisoire

Progrès accomplis dans l'exécution du plan de travail pour 2022-2023

Projet de document d'orientation sur les mesures techniques de réduction des émissions de méthane provenant des décharges, du réseau de gaz naturel et des installations de production de biogaz

Résumé

Le présent document est soumis par l'Équipe spéciale des questions technico-économiques pour examen par le Groupe de travail des stratégies et de l'examen. Il est destiné à aider les parties à réduire les émissions de méthane provenant des principales sources non agricoles, telles que les décharges de déchets municipaux solides, les systèmes d'approvisionnement en gaz naturel et les installations de production de biogaz. Le document a été établi par l'Équipe spéciale conformément à son mandat révisé^a. Il est prévu qu'un projet final du document d'orientation soit transmis par le Groupe de travail à l'Organe exécutif pour adoption à sa quarante-troisième session (Genève, 11-14 décembre 2023).

^a Voir la décision 2018/7 de l'Organe exécutif, annexe, par. 2 b). Disponible à l'adresse <https://unece.org/decisions>.



I. Introduction

1. Le présent projet de document d'orientation sur les mesures de réduction des émissions de méthane (CH₄), élaboré par l'Équipe spéciale des questions technico-économiques, a pour objet d'aider les Parties à réduire les émissions de CH₄ provenant des principales sources non agricoles. Il couvre les émissions de CH₄ provenant des décharges de déchets municipaux solides, des systèmes d'approvisionnement en gaz naturel et des installations de production de biogaz. Il comprend des informations sur les émissions de gaz de décharge et des analyses technico-économiques des systèmes de collecte et d'utilisation des gaz de décharge. Il aborde également les émissions des réseaux de gaz naturel et les émissions associées tout au long de la chaîne de valeur. Outre les aspects techniques de la réduction des émissions grâce, par exemple, au recours à des systèmes pneumatiques et de compression sans émissions, d'autres mesures de gestion, telles que la réduction des émissions liées à la maintenance et la mise en place de programmes d'inspection visant à détecter rapidement les émissions fugitives, également appelés des programmes de détection et de colmatage des fuites, sont d'une importance capitale pour la réduction des émissions de CH₄ provenant du système d'approvisionnement en gaz naturel. Le présent document donne également un aperçu des émissions de CH₄ provenant des installations de production de biogaz, qui sont aussi considérées comme une source importante d'émissions de CH₄ provenant d'applications techniques.

2. Les émissions anthropiques de CH₄ sont devenues un nouveau domaine d'intérêt pour les mesures de réduction des émissions, car le CH₄ est à la fois un important gaz à effet de serre (GES) et un précurseur de l'ozone troposphérique. Par conséquent, l'atténuation des émissions de CH₄ est considérée comme intéressante à la fois pour les politiques relatives aux changements climatiques et pour celles portant sur les polluants atmosphériques.

3. En raison de la diversité des sources et des secteurs industriels responsables des émissions de CH₄, les mesures visant à les réduire sont multiples et ne peuvent être réduites à un ensemble simplifié de mesures techniques. Dans de nombreux cas, par exemple, la réduction des émissions provenant du réseau de gaz naturel et les aspects de gestion tels que les procédures de maintenance et la détection précoce des fuites figurent parmi les mesures de réduction les plus importantes. Cependant, la détection des fuites peut également être facilitée par les technologies modernes de capteurs mobiles, comme décrit dans la section III.B ci-dessous.

4. La synthèse présentée ci-dessous expose les principales questions relatives aux émissions de méthane (CH₄) en relation avec le potentiel de réchauffement planétaire du CH₄, et les réductions d'émissions qui peuvent être obtenues par l'application de mesures appropriées concernant les décharges (formation de gaz) et le réseau d'approvisionnement en gaz naturel, y compris certaines considérations sur les installations de production de biogaz. Les éléments rapportés sont basés sur les dernières informations disponibles provenant de différentes sources scientifiques et industrielles, ainsi que d'institutions publiques, telles que les agences de l'environnement.

II. Informations générales

A. Émissions de méthane

5. Le CH₄ est considéré comme la deuxième source d'émissions de GES après le dioxyde de carbone (CO₂), qui est considéré comme le GES le plus important. Le CH₄ est responsable d'environ 19 % des émissions globales de gaz à effet de serre¹. Cela n'est pas dû aux volumes d'émissions source par source, mais principalement au fait que le CH₄ a un potentiel de réchauffement planétaire nettement plus élevé que le CO₂. Le CH₄ est le deuxième contributeur au forçage radiatif anthropique total et représente l'équivalent de 58 % du forçage radiatif du

¹ J. G. J. Olivier et J. A. H. W. Peters, *Trends in global CO₂ and total greenhouse gas emissions: Summary of the 2019 Report* (La Haye, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, 2019).

CO₂². Le potentiel de réchauffement planétaire du CH₄ est environ 28 fois plus élevé que celui du CO₂ sur une période de cent ans³. Bien qu'un forçage radiatif très important soit associé au CH₄, son cycle de renouvellement dans l'atmosphère est relativement court (environ douze ans), ce qui signifie que le climat ne sera affecté par les émissions actuelles de CH₄ que pendant un peu plus d'une décennie. À court terme (les vingt ans à venir), le potentiel de réchauffement planétaire du CH₄ est plus de 80 fois supérieur à celui du CO₂.

6. Outre l'importance de la réduction des émissions de CH₄ pour l'atténuation des changements climatiques, le CH₄ est un précurseur de l'ozone troposphérique. Par conséquent, les émissions de CH₄ sont également de la plus haute importance du point de vue de la pollution de l'air et de ses effets sur la santé humaine. Par conséquent, le CH₄ doit être considéré à la fois comme un GES et comme un polluant atmosphérique⁴.

7. Selon des estimations de base, environ 40 % des émissions mondiales de CH₄ proviennent de sources biogènes (naturelles), telles que les zones humides, tandis que les 60 % restants proviennent de sources anthropogènes⁵. La concentration atmosphérique de CH₄ a triplé depuis le début de l'industrialisation en 1750⁶. La croissance des émissions de CH₄ est en grande partie attribuable aux activités humaines, telles que l'agriculture, la production de combustibles fossiles et le traitement des déchets solides et des eaux usées, et parmi celles-ci, l'agriculture est la plus grande source anthropique d'émissions de CH₄ au niveau mondial.

8. Aujourd'hui, environ 50 % des émissions anthropiques de CH₄ sont générées par les activités agricoles (principalement l'élevage, du fait de la formation de CH₄ entérique par les bovins et les ovins, et des émissions provenant du lisier, ainsi que la production de riz)⁷. Les gaz provenant des décharges de déchets municipaux solides et de la production de pétrole et de gaz sont les principales sources non agricoles d'émissions de CH₄.

9. Depuis 1990, l'Union européenne a mis en place des actions visant à réduire les émissions de CH₄ qui, combinées à l'introduction de mesures structurelles, ont conduit à une diminution des émissions de CH₄ d'environ 37 % dans la région de l'Union européenne. Toutefois, cette baisse est principalement due à la réduction du volume de déchets mis en décharge et des activités d'extraction du charbon, qui ont directement affecté les niveaux d'émission de CH₄ en Europe. D'autres possibilités de réduction des émissions de CH₄ existent, notamment un certain nombre d'options concernant les émissions des décharges et l'exploitation du gaz naturel, qui sont examinées dans les sections suivantes. Ensuite, le présent document d'orientation évalue brièvement la question des émissions de CH₄ provenant des installations de biogaz, qui sont également considérées comme des émissions liées à la technologie et relèvent donc du mandat révisé de l'Équipe spéciale des questions technico-économiques. Les émissions agricoles, bien que très pertinentes, ne sont pas examinées dans le présent document, car les sources agricoles relèvent de la compétence de l'Équipe spéciale de l'azote réactif.

² M. Saunois et autres, « The growing role of methane in anthropogenic climate change », *Environmental Research Letters*, vol. 11, n° 12 (2016).

³ Shushi Peng et autres, « Inventory of anthropogenic methane emissions in mainland China from 1980 to 2010 », *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 16, n° 22 (2016), p. 14545 à 14562.

⁴ Agence européenne pour l'environnement (AEE), « Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2017 and inventory report 2019: Submission under the United Nations Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol », EEA/PUBL/2019/051 (s.p., 2019).

⁵ Agence internationale de l'énergie (AIE), *World Energy Outlook 2017* (s.p., 2017).

⁶ Peng et autres, « Inventory of anthropogenic methane emissions ».

⁷ AEE, « Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2017 ».

B. Principales sources non agricoles

Gaz de décharge

10. Les émissions mondiales de CH₄ provenant des décharges sont estimées à 500-800 mégatonnes d'équivalent CO₂ par an (MtCO₂-eq/an)⁸. Les émissions directes du secteur des déchets urbains ont presque doublé au cours de la période 1970-2010. Au niveau mondial, seuls 20 % environ des déchets municipaux solides sont recyclés et 13,5 % environ sont traités par récupération d'énergie, le reste étant déposé dans des décharges à ciel ouvert ou dans des centres d'enfouissement technique⁹. Dans l'Union européenne, les déchets mis en décharge n'ont cessé de diminuer ces dernières années et représentent actuellement autour de 15 %¹⁰. Toutefois, des différences importantes subsistent entre les États membres de l'Union européenne. En Europe de l'Est, dans le Caucase et en Asie centrale, les taux de mise en décharge ont atteint jusqu'à 100 % par le passé¹¹ et, malgré le manque de données actualisées, on peut supposer que les taux actuels de mise en décharge des déchets municipaux solides ne sont pas significativement inférieurs à la moyenne mondiale. On estime qu'environ 50 Mt de CH₄ sont générées chaque année dans les décharges mondiales, dont 6 Mt sont collectées ou éliminées dans les décharges sanitaires¹².

11. Les déchets municipaux solides contiennent une part importante de matières organiques qui produisent divers produits gazeux lorsqu'elles sont déposées, compactées et recouvertes dans les décharges. Les bactéries anaérobies se développent dans cet environnement sans oxygène, ce qui entraîne la décomposition des matières organiques et la production de CO₂ et de CH₄¹³.

12. La production de gaz de décharge s'effectue en quatre phases. Tout d'abord, du CO₂ est produit dans des conditions aérobies. Ensuite, l'oxygène (O₂) est épuisé et du CO₂ et de l'hydrogène (H₂) sont produits dans des conditions anaérobies. Puis la production de CO₂ diminue à mesure que se forme du CH₄. Enfin, les productions de CH₄, de CO₂ et d'azote (N₂) se stabilisent. Le CH₄ produit par les micro-organismes méthanogènes anaérobies dans les décharges peut alors emprunter les voies énumérées ci-dessous :

- a) Émission dans l'atmosphère ;
- b) Récupération par puits de gaz ;
- c) Oxydation par des micro-organismes méthanotrophes aérobies dans des sols de couverture.

13. Le taux de récupération du CH₄ dans les installations (également appelé l'efficacité du captage) varie selon le type de décharge et va de 10 % pour les décharges à ciel ouvert à 75 % pour les décharges de base et à 85 % pour les centres d'enfouissement contrôlés¹⁴. Toutefois, certaines décharges bien conçues et bien exploitées ont démontré une efficacité de collecte nettement supérieure, avec des taux de collecte finale atteignant jusqu'à 95 %¹⁵.

⁸ Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA), « Global Anthropogenic Non-CO₂ Greenhouse Gas Emissions: 1990-2020 » (Washington, 2006).

⁹ Ottmar Edenhofer et autres, éd., *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change – Working Group III Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (New York, Cambridge University Press, 2014).

¹⁰ AEE, « Diversion of water from landfill in Europe », disponible à l'adresse www.eea.europa.eu/ims/diversion-of-waste-from-landfill.

¹¹ Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE) et AEE, *Sustainable Consumption and Production in South-East Europe and Eastern Europe, Caucasus and Central Asia: Joint UNEP-EEA Report on the Opportunities and Lessons Learned*, EEA Report No. 3/2007 (Luxembourg, Office des publications officielles des Communautés européennes, 2007).

¹² Voir la définition du terme « Landfill gas » dans Eduardo Calvo Buendia et autres, éd., *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Glossary* (s.p., Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2019) ; et dans Nikolas Themelis et Athanasios Bourtsalas, « UK waste management: Growing old or growing clean », *Waste Management World*, 5 juin 2013.

¹³ Buendia et autres, *2019 Refinement*.

¹⁴ Ibid.

¹⁵ Themelis et Bourtsalas, « UK Waste Management ».

Une description détaillée des mesures techniques applicables à la réduction des émissions de CH₄ provenant des décharges est fournie dans la section III ci-dessous.

C. Émissions du réseau de gaz naturel

14. En raison des volumes de production relativement faibles du gaz naturel au sein de l'Union européenne (à 28 pays), les émissions du réseau de gaz naturel ne représentent qu'environ 5 % des émissions globales¹⁶. Toutefois, il convient de noter que l'approvisionnement européen en gaz naturel provient en majeure partie d'importations de la Fédération de Russie (en baisse depuis peu), de Norvège et d'Afrique du Nord. En outre, les importations de gaz naturel liquéfié augmentent en provenance de diverses régions, notamment d'Amérique du Nord, et des émissions importantes sont générées lors de l'extraction, du traitement et du transport de ce gaz.

15. Les différentes étapes de la collecte, de la compression, du transport et de la distribution du gaz sont brièvement décrites ci-dessous. Il existe de nombreuses sources d'émissions de CH₄ tout au long de la chaîne d'approvisionnement en gaz. Ces émissions sont soit « fugitives » soit « relâchées »¹⁷ :

a) Les émissions fugitives se produisent lorsque le CH₄ « fuit » du matériel de façon imprévue, par exemple lorsque des brides ou des vannes ne fonctionnent pas correctement. Les fuites de pipelines ou de cuves sont généralement à l'origine d'émissions fugitives ;

b) Les émissions relâchées se produisent lorsque le CH₄ est libéré en raison de la conception du matériel ou des procédures opérationnelles, telles que les purges de dispositifs pneumatiques, les vidanges, les combustions incomplètes ou l'évacuation des gaz. Les émissions relâchées peuvent être considérées comme habituelles ou non habituelles.

16. Le réseau d'approvisionnement en gaz naturel se compose des installations de production de base, où le gaz naturel brut est collecté à partir de différents sites de forage. Le gaz brut contenant de l'eau, du soufre, des hydrocarbures supplémentaires et d'autres impuretés est ensuite transféré à l'usine de traitement, où il est raffiné et préparé pour le transport. Le gaz naturel étant généralement transporté par des gazoducs sur de très longues distances, il faut maintenir une pression élevée, qui est générée dans des postes de compression installés le long des lignes de transport. Les grands consommateurs, tels que les centrales électriques, sont parfois directement connectés aux lignes de transport. Cependant, la majeure partie du gaz naturel est transférée des lignes de transport aux « portes des villes ». En effet, c'est aux portes des villes que le réseau de transport alimente un réseau de distribution à plus basse pression qui achemine le gaz naturel directement jusqu'au consommateur (habitations et entreprises). Aux portes des villes, la pression du gaz est réduite et, normalement, un odorisant (généralement du mercaptan) est ajouté au gaz pour permettre la détection des fuites grâce à l'odeur caractéristique. Dans certains pays, comme la France et l'Espagne, l'odorisant est ajouté directement dans la ligne de transport. Alors que les gazoducs de transport peuvent fonctionner à des pressions de plus de 70 bars (1 000 livres par pouce carré (psi)), les réseaux de distribution fonctionnent à des pressions beaucoup plus faibles (1,5-10 bars)¹⁸.

17. Les sources générales d'émissions et les processus connexes tout au long du réseau d'approvisionnement sont énumérés et brièvement expliqués ci-dessous¹⁹ :

a) **Production.** Du gaz brut (y compris du CH₄) est relâché à différentes étapes du processus de production. Du gaz peut être relâché lorsque la construction du puits est achevée lors de la phase initiale de production. Les puits de gaz étant souvent situés dans des

¹⁶ AEE, « Annual European Union greenhouse gas inventory 1990-2017 ».

¹⁷ Alberta Energy Regulator, « Directive 060: Upstream Petroleum Industry Flaring, Incinerating, and Venting » (s.p., 2018).

¹⁸ Marcogaz, « Potential ways the gas industry can contribute to the reduction of methane emissions: Report of the Madrid Forum (5-6 June 2019) » (s.p., s.d.).

¹⁹ Pipeline Safety Trust, « Pipeline Basics and Specifics About Natural Gas Pipelines », Pipeline Briefing Paper No. 2 (s.p., 2015).

endroits éloignés, sans alimentation électrique, la pression du gaz est utilisée pour contrôler et alimenter une variété de dispositifs de contrôle et d'équipements sur site, tels que les pompes. Ces dispositifs pneumatiques relâchent ou purgent généralement de petites quantités de gaz pendant leur fonctionnement. L'eau et les hydrocarbures liquides sont séparés du flux de produits à la tête de puits. Les liquides libèrent du gaz, qui peut s'échapper des cuves s'il n'est pas récupéré. L'eau est extraite du flux de gaz par des déshydrateurs au glycol, qui déposent l'humidité retirée et relâchent une partie du gaz dans l'atmosphère. Dans certains cas, le gaz libéré par ces procédés et équipements peut être brûlé à la torche plutôt que relâché afin de maintenir la sécurité et de réduire la surpression dans les différentes parties du système d'extraction et de distribution du gaz. Le brûlage à la torche génère du CO₂, mais son efficacité est inférieure à 100 % et, dans tous les cas, certaines émissions de CH₄ sont libérées pendant ce brûlage. Outre les diverses sources d'émissions relâchées, les nombreux composants et le réseau complexe de petites conduites de collecte peuvent être à l'origine d'émissions fugitives, en particulier dans les gisements non conventionnels, qui sont exploités par hydrofracturation²⁰ ;

b) **Traitement.** Bien que, dans certains cas, le gaz soit suffisamment pur pour être utilisé tel quel, la majeure partie du gaz est d'abord transportée par gazoduc de la tête de puits à une usine de traitement du gaz. Le système de collecte est équipé de dispositifs pneumatiques et de compresseurs pour relâcher du gaz, ainsi que des émissions fugitives potentielles. Les usines de traitement du gaz extraient du gaz brut des hydrocarbures liquides supplémentaires, entre autres du propane, ainsi que des impuretés gazeuses, notamment du CO₂, afin de raffiner le gaz et de lui faire atteindre une qualité adéquate pour le transport par gazoduc, après quoi il sera comprimé et transporté. Ces installations sont une autre source d'émissions fugitives et relâchées. Depuis l'usine de traitement du gaz, le gaz naturel est transporté, généralement sur de longues distances, par des gazoducs interétatiques, jusqu'au nœud de distribution aux portes de la ville, puis jusqu'au consommateur final. La grande majorité des compresseurs utilisés pour pressuriser le gazoduc nécessaire à l'acheminement du gaz sont alimentés par du gaz naturel, bien qu'une petite partie fonctionne à l'électricité. Les compresseurs sont une source d'émissions de CO₂ et de CH₄ dues à la combustion du carburant, et sont également une source d'émissions fugitives et relâchées de CH₄ en raison de fuites au niveau des joints, des vannes et des connexions des compresseurs, et de l'évacuation de gaz qui se produit au cours du fonctionnement et de l'entretien ;

c) **Postes de compression.** Les postes de compression sont la principale source d'émissions relâchées de CH₄ dans le transport du gaz naturel. Cela est principalement dû aux activités de régulation de la pression ou de dégazage pour la maintenance et les réparations ;

d) **Installations aux portes des villes et conduites de distribution.** Les conduites de distribution nécessitent normalement moins de puissance de compression, les pressions requises étant plus faibles. Il faut néanmoins de la compression, et cela provoque des émissions relâchées. D'autres émissions de CH₄ se produisent sous forme d'émissions fugitives, en raison de fuites provenant des anciennes conduites de distribution et des vannes, des raccordements et du matériel de mesure.

D. Émissions des installations de biogaz

18. Le nombre croissant d'installations de biogaz constituent une source de plus en plus importante d'émissions de CH₄ qui, dans la plupart des cas, n'est pas répertoriée séparément dans les statistiques courantes. Au moins dans l'inventaire allemand des émissions, plusieurs émissions des installations de biogaz sont déjà répertoriées et attribuées au secteur de l'agriculture, de l'énergie ou des déchets. Cependant, dans la liste, plusieurs sources d'émissions non contrôlées manquent et ne sont pas encore prises en compte dans les calculs. L'inventaire des émissions n'est donc pas adapté au calcul de l'efficacité en matière de GES dans la production globale de biogaz. Ce calcul ne serait possible qu'en établissant des bilans distincts pour les différents gaz à effet de serre. Les installations de biogaz sont généralement

²⁰ Commission européenne, Quatrième rapport biennal de l'Union européenne au titre de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (s.p., 2019).

directement reliées à une centrale de cogénération pour la production d'électricité et la fourniture de chaleur locale. Grâce à une importante politique de subvention, le nombre d'unités de biogaz a considérablement augmenté dans certains États membres de l'Union européenne, dont l'Allemagne. Les émissions des installations de biogaz ne peuvent pas être comptabilisées directement dans les émissions agricoles classiques, mais elles peuvent avoir une origine technologique et sont donc également examinées brièvement dans ce rapport. Étant donné que les fuites, pendant la fermentation ou la combustion incomplète dans la centrale électrique, peuvent fortement contribuer aux émissions locales de CH₄, quelques informations supplémentaires sur les émissions de CH₄ provenant des installations de biogaz sont fournies ci-dessous. Comme les données sur ces émissions sont rares dans la littérature spécialisée, quelques projections de base sont fournies à partir de l'exemple de l'Allemagne, où il existe un grand nombre d'installations de biogaz, en raison des politiques de subvention précédemment appliquées.

19. En raison des différences entre les méthodes de mesure et de la nature non contraignante des lignes directrices, les résultats des mesures ne sont actuellement que d'une comparabilité limitée. À l'avenir, une harmonisation des méthodes pourrait également améliorer la précision, la reproductibilité et la représentativité des valeurs mesurées²¹. À des fins d'équilibrage, on a pris pour hypothèse un taux de fuite total de 1 %, ce qui constitue une estimation plausible pour le parc actuel d'installations de biogaz en Allemagne²².

20. Suivant comment les limites du système sont définies, les émissions de CH₄ provenant du stockage des substrats, avant la digestion proprement dite et le stockage ou l'épandage des résidus digérés sur les terres agricoles, doivent également être prises en compte. Si l'on ajoute toutes ces dernières sources, les experts estiment qu'environ 5 % du CH₄ généré dans les installations de biogaz est rejeté dans l'atmosphère de manière incontrôlée.

III. Aperçu des mesures techniques existantes

21. La présente section offre un bref aperçu de la formation des gaz de décharge et des émissions de CH₄ qui y sont liées, ainsi que des solutions techniques pour les systèmes de collecte et de combustion des gaz. Ensuite, quelques chiffres technico-économiques tirés de travaux de recherche sur les coûts d'investissement et d'exploitation sont fournis.

A. Réduction des émissions de CH₄ provenant des décharges

22. La décomposition anaérobie des déchets solides municipaux mis en décharge est la plus importante source non agricole d'émissions anthropiques de CH₄ en Europe. Les systèmes de collecte des gaz et la combustion pour la production de chaleur et d'électricité, combinés à la diminution de la part des déchets mis en décharge, ont permis de réduire les émissions annuelles depuis 1990. Cependant, il existe des possibilités supplémentaires de réduction des émissions, notamment grâce à la mise en place et à l'utilisation systématiques de systèmes de collecte et de combustion des gaz pour la production de chaleur et d'électricité.

23. Avec l'introduction de la directive sur la mise en décharge des déchets²³, l'Union européenne s'est dotée d'un puissant outil de réduction de la quantité de déchets municipaux biodégradables mis en décharge²⁴. Cette directive impose en effet aux États membres d'inclure des éléments précis dans l'autorisation d'exploiter une décharge. En ce qui concerne le contrôle

²¹ Jan Liebetrau et autres, « Methane emissions from biogas plants: Methods for measurement, results and effect on greenhouse gas balance of electricity produced », IEA Bioenergy Task 37 (s.p., IEA Bioenergy, 2017).

²² Agence allemande pour l'environnement, « Bioenergie: Datengrundlagen für die Statistik der erneuerbaren Energien und Emissionsbilanzierung-Ergebnisbericht zum Workshop vom Juli 2011 » (Dessau-Roßlau, 2012) (uniquement en allemand).

²³ Directive 1999/31/CE du Conseil du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets, *Journal officiel des Communautés européennes*, L 182 (1999), p. 1 à 19.

²⁴ Ibid.

et le traitement des gaz de décharge, l'annexe I de la directive sur les décharges contient les exigences suivantes :

4. Maîtrise des gaz :

4.1 Des mesures appropriées sont prises afin de limiter l'accumulation et la migration des gaz de décharge (annexe III).

4.2 Les gaz de décharge sont recueillis dans toutes les décharges recevant des déchets biodégradables et doivent être traités et utilisés. Si le gaz ne peut être utilisé pour produire de l'énergie, il doit être brûlé dans des torches.

4.3 La collecte, le traitement et l'utilisation des gaz de décharge au titre du point 4.2 sont réalisés de manière à réduire au maximum les dommages ou les dégradations causés à l'environnement et les risques pour la santé humaine.

24. Un large éventail de technologies sont disponibles pour le traitement et l'élimination des déchets solides et la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Les déchets solides peuvent être recyclés, mis en décharge, incinérés ou traités biologiquement²⁵. L'utilisation des décharges est réduite grâce au recyclage, à la réduction à la source de la production de déchets et au détournement des déchets vers d'autres méthodes de traitement et d'élimination, telles que le compostage et l'incinération²⁶. Par conséquent, l'atténuation des émissions de GES provenant des déchets repose sur une combinaison de plusieurs techniques, dont l'application dépend des facteurs locaux, régionaux et nationaux de gestion des déchets et d'atténuation des GES²⁷.

25. Il faut également tenir compte du fait que les différentes techniques sont complémentaires tout au long de la durée de vie de la décharge. D'une manière générale, la collecte et la valorisation énergétique du gaz de décharge est l'option recommandée à laquelle il convient de recourir au maximum. Toutefois, pendant un certain temps au début de la vie de la décharge, la production de gaz ne sera pas suffisante, ni en qualité ni en quantité, pour en permettre la valorisation. Pendant cette période précédant la valorisation du gaz, l'exploitant doit maximiser la quantité de CH₄ collectée et oxydée. De même, lorsque la durée de vie de la décharge arrive à son terme et que la production de gaz diminue, l'exploitant doit envisager d'utiliser différentes techniques d'oxydation du CH₄ afin d'en maximiser la quantité collectée et oxydée²⁸.

26. Plusieurs des principales techniques permettant de réduire les émissions de GES des décharges sont brièvement décrites ci-dessous :

a) **Oxydation (couvertures biologiques et biofiltration).** L'oxydation du CH₄ est un processus qui se déroule naturellement à travers les différentes couches du sol de couverture, en raison de la profusion d'organismes méthanotrophes²⁹. L'idée d'utiliser la biofiltration pour l'élimination du CH₄ vient du fait que certaines espèces bactériennes sont capables de dégrader le CH₄ en générant des sous-produits d'oxydation tels que de l'eau (H₂O), du CO₂, des sels et de la biomasse. Tous ces produits sont beaucoup moins nocifs pour l'environnement que ne l'est le substrat initial³⁰. Les taux d'oxydation du CH₄ dans les

²⁵ Rafiu Olasunkanmi Yusuf et autres, « Methane emission by sectors: A comprehensive review of emission sources and mitigation methods », *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, n° 7 (avril 2012), p. 5059 à 5070.

²⁶ Izzet Karakurt, Gokhan Aydin et Kerim Aydin, « Sources and mitigation of methane emissions by sectors: A critical review », *Renewable Energy*, vol. 39, n° 1 (2012), p. 40 à 48.

²⁷ Bert Metz et autres, éd., *Climate change 2007: Mitigation of climate change – Working Group III Contribution to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Cambridge et New York, Cambridge University Press, 2007).

²⁸ Commission européenne, « Guidance on the landfill gas control requirements of the Landfill Directive » (s.p., 2013).

²⁹ Alireza Majdinasab et Qiuyan Yuan, « Performance of the biotic systems for reducing methane emissions from landfill sites: A review », *Ecological Engineering*, vol. 104, Part A (juillet 2017), p. 116 à 130.

³⁰ J. Nikiema, R. Brzezinski et M. Heitz, « Elimination of methane generated from landfills by biofiltration: A review », *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, vol. 6 (2007), p. 261 à 284.

décharges peuvent varier de plusieurs ordres de grandeur, allant de négligeable à 100 % du flux de CH₄ vers la couverture. Dans des conditions où le potentiel d'oxydation est élevé et le flux de CH₄ provenant de la décharge est faible, il a été démontré que le CH₄ atmosphérique pouvait être oxydé à la surface de la décharge. Dans ce cas, les sols de couverture de la décharge jouent un rôle de puits, plutôt que de source, pour le CH₄ atmosphérique³¹. La co-oxydation de nombreux composés organiques autres que le CH₄, en particulier les composés aromatiques et faiblement chlorés, réduisant ainsi leurs émissions dans l'atmosphère³², est un avantage secondaire de l'oxydation du CH₄ dans les sols de couverture. Les techniques permettant d'augmenter le taux d'oxydation du CH₄ comprennent les biocouvertures et les lits de biofiltration³³. Une biocouverture est une couverture finale supplémentaire qui sert à améliorer l'oxydation du CH₄ pour le convertir en CO₂ avant qu'il ne soit relâché dans l'atmosphère. Une biocouverture est composée de deux couches de substrat : une couche de dispersion des gaz et une couche d'oxydation du CH₄. La couche de dispersion des gaz est une couche perméable supplémentaire de gravier, de verre brisé ou de sable située sous le milieu poreux de la couche de métabolisation du CH₄. Cette couche est ajoutée pour répartir uniformément le gaz de décharge non capturé dans le milieu d'oxydation du CH₄ et pour éliminer l'excès d'humidité du gaz. Le milieu d'oxydation du CH₄ peut être constitué de terre, de compost ou d'autres milieux poreux. Ces milieux sont généralement ensemencés en bactéries méthanotrophes par la décomposition des déchets³⁴. Comme les biocouvertures, les lits de biofiltration visent à oxyder davantage le CH₄ provenant des gaz de décharge collectés passivement. Les gaz de décharge collectés passent dans une cuve contenant un milieu oxydant le CH₄ avant d'être relâchés dans l'atmosphère ou dans un système de contrôle. Ce type de technique de maîtrise de la pollution n'est envisageable que pour les petites décharges ou les décharges équipées de systèmes de collecte passive des gaz, en raison de la taille du lit de biofiltration nécessaire pour traiter un mélange d'air et de gaz ;

b) **Aération des décharges.** L'aération *in situ* est une technique qui consiste à injecter de l'air ambiant dans les décharges de déchets municipaux solides afin d'améliorer les processus biologiques et d'inhiber la production de CH₄³⁵. L'air ambiant est introduit dans la décharge par un système de puits de gaz, ce qui accélère la stabilisation aérobie des déchets déposés. Le gaz qui en résulte est collecté et traité³⁶. La stabilisation biologique des déchets, à l'aide de l'aération *in situ*, permet de réduire à la fois les émissions actuelles et le potentiel d'émission des déchets³⁷. L'aération des décharges, qui n'est pas encore largement appliquée, est une technique prometteuse pour le traitement du CH₄ résiduel des décharges, lorsque la récupération d'énergie devient moins viable économiquement³⁸. En l'absence de réglementation environnementale contraignante exigeant la collecte et le brûlage des gaz de décharge, l'aération des décharges peut être appliquée à des décharges fermées ou à des cellules fermées dans des décharges en cours d'exploitation, sans collecte et élimination ou utilisation préalables des gaz. Dans le cas d'une décharge aérée *in situ* située dans le nord de l'Allemagne par exemple, l'aération de la décharge a permis de réduire les émissions de CH₄

³¹ Metz et autres, éd., *Climate change 2007*.

³² Charlotte Schuetz et autres, « Comparative oxidation and net emissions of methane and selected non-methane organic compounds in landfill cover soils », *Environmental Science and Technology*, vol. 37, n° 22 (2003), p. 5150 à 5158.

³³ Agence de protection de l'environnement des États-Unis (US EPA), « Lessons Learned from Natural Gas STAR Partners: Options for Reducing CH₄ Emissions From Pneumatic Devices in the Natural Gas Industry » (2006).

³⁴ US EPA, « Available and Emerging Technologies for Reducing Greenhouse Gas Emissions from Municipal Solid Waste Landfills » (2011).

³⁵ Xiaoli Chai et autres, « The effect of aeration position on the spatial distribution and reduction of pollutants in the landfill stabilization process: A pilot scale study », *Waste Management and Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, vol. 31, n° 1 (janvier 2013), p. 41 à 49.

³⁶ K. U. Heyer et autres, « Pollutant release and pollutant reduction: Impact of the aeration of landfills », *Waste Management*, vol. 25, n° 4 (2005), p. 353 à 359.

³⁷ R. Prantl et autres, « Changes in carbon and nitrogen pool during in-situ aeration of old landfills under varying conditions », *Waste Management*, vol. 26, n° 4 (2006), p. 373 à 380.

³⁸ Charlotte Rich, Jan Gronow et Nikolaos Voulvoulis, « The potential for aeration of MSW landfills to accelerate completion », *Waste Management*, vol. 28, n° 6 (2008), p. 1039 à 1048 ; et M. Ritzkowski et R. Stegmann, « Generating CO(2)-credits through landfill in situ aeration », *Waste Management*, vol. 30, n° 4 (avril 2010), p. 702 à 706.

de 83 % à 95 %, dans des conditions strictement contrôlées. Suivant les conditions qui règnent sur le site de la décharge, l'aération de la décharge peut être possible à différents stades de l'exploitation de celle-ci. L'aération précoce signifie que l'on renonce à la production d'énergie, mais elle peut convenir aux décharges où la valorisation énergétique des déchets n'est pas réalisable. L'aération tardive est plus courante, car elle permet de récupérer de l'énergie et de continuer à réduire les émissions de CH₄ lorsque la production de CH₄ a atteint un plateau et que la poursuite de son exploitation³⁹ n'est plus rentable ;

c) **Collecte et utilisation des gaz.** Lorsque l'on envisage l'extraction et l'utilisation du gaz, qui peuvent également être intéressantes d'un point de vue économique en raison de la production de chaleur et d'électricité, il convient de faire la distinction entre la collecte du gaz et son utilisation ultérieure, qui comprend le torchage, la production d'électricité, l'utilisation directe du gaz, par exemple dans des chaudières, et l'utilisation ultérieure, comme combustible ou pour la synthèse chimique. Toutes les options disponibles sont brièvement décrites ci-dessous :

i) **Collecte des gaz.** Selon la directive sur la mise en décharge, l'énergie doit être récupérée à partir des gaz de décharge collectés. Si l'exploitant considère que le gaz de décharge est inutilisable dans la décharge, il doit démontrer à l'autorité compétente qu'il existe des raisons propres au site qui rendent son utilisation irréalisable⁴⁰. La mise en service d'un système actif d'extraction des gaz de décharge, à l'aide de puits verticaux ou de collecteurs horizontaux, est la mesure d'atténuation la plus importante pour la réduction des émissions. Des études de terrain intensives sur le bilan de masse du CH₄ dans les cellules, faisant intervenir diverses pratiques de conception et de gestion, ont montré qu'il était possible de récupérer plus de 90 % du CH₄ dans les cellules, en utilisant des couvertures finales et des systèmes d'extraction de gaz efficaces⁴¹. Certains sites peuvent disposer de systèmes d'extraction de gaz moins efficaces, ou seulement partiels, avec des émissions fugitives provenant des déchets mis en décharge avant et après la mise en service de l'extraction active de gaz. Ainsi, les estimations de l'efficacité de la récupération au cours de la durée de vie peuvent être aussi faibles que 20 %⁴². Dans le cas des décharges fermées, les rendements signalés vont de 10 % à 90 %. Pour les décharges en activité, les rendements vont de 10 % à 80 %⁴³. Pour les systèmes actifs de collecte des gaz, l'efficacité de la collecte dépend principalement de la conception et de l'entretien du système de collecte, ainsi que du type de matériaux utilisés pour couvrir la décharge. La collecte de gaz, par des puits verticaux et des tranchées horizontales, commence généralement après qu'une section d'une décharge (également appelée une cellule) cesse de recevoir de nouveaux déchets : on la ferme et on la recouvre de terre. Les puits verticaux sont le plus souvent utilisés pour la collecte des gaz, tandis que des tranchées sont parfois utilisées dans les décharges plus profondes, et peuvent être utilisées dans les zones de remplissage actif. Le gaz collecté est acheminé par des conduites latérales jusqu'à un collecteur principal. Idéalement, le système de collecte devrait être conçu de manière à ce que l'exploitant puisse contrôler et ajuster le débit de gaz, si nécessaire. Une fois que le CH₄ de la décharge est collecté, il peut être utilisé de différentes manières, notamment pour la production d'électricité, l'utilisation directe du gaz, la production de biométhane, l'alimentation de piles à combustible ou la compression pour en faire un carburant liquide⁴⁴. Les puits d'extraction sont généralement constitués de tuyaux en plastique fendus, entourés de pierres ou d'autres agrégats, qui sont installés dans des forages dans la masse de déchets sous la surface du site. Au-dessus de la surface de la masse de déchets, le puits d'extraction est

³⁹ X. F. Lou et J. Nair, « The impact of landfilling and composting on greenhouse gas emissions: A review », *Bioresource Technology*, vol. 100, n° 16 (août 2009), p. 3792 à 3798.

⁴⁰ Commission européenne, « Guidance on landfill gas control ».

⁴¹ K. Spokas et autres, « Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? », *Waste Management*, vol. 26, n° 5 (2006), p. 516 à 525.

⁴² Hans Oonk, « Efficiency of landfill gas collection for methane emission reduction », *Greenhouse Gas Measurement and Management*, vol. 2, n° 2-3 (octobre 2012), p. 129 à 145.

⁴³ Ibid.

⁴⁴ Karakurt, Aydin et Aydin, « Sources and mitigation ».

généralement équipé d'une tête de puits pour permettre le réglage du vide et l'échantillonnage des gaz de décharge. La disposition de ces puits peut être verticale ou horizontale, et le choix entre les puits verticaux et horizontaux dépend de facteurs propres au site⁴⁵. Les puits verticaux sont généralement installés dans des zones où le site ne reçoit plus de déchets ou dans lesquelles il n'y aura pas de remplissage par de nouveaux déchets pendant un an ou plus. Toutefois, des puits verticaux peuvent être installés et exploités dans des zones où des déchets continuent d'être placés, bien que le placement entraîne des exigences accrues en matière d'exploitation et d'entretien. Des puits d'extraction horizontaux peuvent être installés pendant qu'un site d'élimination des déchets reçoit encore des déchets et peuvent être utilisés dans les cas où la collecte des gaz de décharge est souhaitée dans une zone avant la fermeture. Les puits d'extraction horizontaux sont placés dans une tranchée à l'intérieur des déchets. La tranchée est ensuite remblayée avec du gravier (ou d'autres agrégats tels que des copeaux de pneus ou du verre brisé), et le tuyau perforé est installé au centre de la tranchée ;

ii) **Utilisation des gaz.** En fonction des circonstances propres au site, il existe différentes options d'utilisation des gaz de décharge. Les plus pertinentes sont les suivantes :

a) **Brûlage à la torche.** La collecte et le brûlage des gaz de décharge font partie du fonctionnement normal de la décharge, indépendamment des systèmes supplémentaires de production de chaleur ou d'électricité. Le taux de production de gaz de décharge diminuera avec le temps, produisant des volumes de gaz plus faibles, avec une faible teneur en CH₄. Selon les orientations de l'Union européenne sur la maîtrise des gaz de décharge, les exploitants doivent suivre la hiérarchie suivante des techniques de traitement pendant la durée de vie de la décharge, afin de s'assurer que la quantité maximale de gaz de décharge est oxydée tout au long du cycle de vie de la décharge⁴⁶ : a) torchage à haute température ; b) torchage à faible pouvoir calorifique ; c) d'autres techniques d'oxydation du CH₄. Il existe généralement deux types de torchères : a) les torches ouvertes (en forme de chandelle) ; b) les torches fermées (torchères au sol) qui, lorsqu'elles sont correctement conçues et exploitées, peuvent atteindre une efficacité d'élimination de 99 % ou plus. Des températures de combustion et des temps de séjour plus élevés entraînent la destruction des constituants indésirables, tels que les hydrocarbures imbrûlés. Toutefois, ce type de torche présente un inconvénient majeur : son installation et son fonctionnement sont plus coûteux que ceux des torches ouvertes⁴⁷ ;

b) **Production d'électricité.** Le gaz de décharge collecté sur le site d'élimination des déchets peut être utilisé pour produire de l'électricité. Après le pompage, le gaz doit généralement subir un prétraitement pour éliminer les liquides, le soufre et les siloxanes. Si le gaz de décharge épuré doit être transformé en bioCH₄, le CO₂ doit également être éliminé. Toutefois, les moteurs à mouvement alternatif pour la cogénération d'électricité et de chaleur peuvent fonctionner même lorsque le gaz de décharge contient jusqu'à 40 % de CO₂ en volume. La production d'énergie nécessite également un stockage temporaire du gaz ou une torchère pour brûler la production excédentaire de CH₄⁴⁸. Les techniques les plus courantes pour la production d'électricité à partir de gaz de décharge⁴⁹ sont énumérées ci-dessous :

i) **Moteurs à mouvement alternatif à combustion interne.** Il s'agit de la technologie la plus répandue pour la conversion des gaz de décharge en électricité. Les avantages sont les suivants : faible coût d'investissement, efficacité élevée, flexibilité en ce qui concerne la teneur en CH₄ et adaptabilité aux variations de la production de gaz provenant des décharges ;

⁴⁵ Initiative mondiale sur le méthane (IMM), « International Best Practices Guide for Landfill Gas Energy Projects » (s.p., US EPA, 2012).

⁴⁶ Commission européenne, « Guidance on landfill gas control ».

⁴⁷ IMM, « International Best Practices Guide ».

⁴⁸ Karakurt, Aydin et Aydiner, « Sources and mitigation ».

⁴⁹ US EPA, « Available and Emerging Technologies ».

ii) **Turbines à gaz utilisant du gaz de décharge.** Celles-ci nécessitent une alimentation en gaz fiable pour fonctionner efficacement et conviennent généralement aux décharges où la production de gaz génère au moins 3 MW d'énergie thermique. Toutefois, ces petites turbines à gaz sont très sensibles à la contamination du gaz combustible et nécessitent un entretien plus spécialisé et plus coûteux que les moteurs à mouvement alternatif ;

iii) **Microturbines.** Celles-ci sont généralement le meilleur choix pour les projets de récupération à petite échelle qui fournissent de l'électricité à la décharge ou à un site situé à proximité de la décharge. Les microturbines simples ont une capacité de 30 à 250 kW et conviennent le mieux aux applications dont la puissance est inférieure à 1 MW d'énergie thermique. Il faut généralement un traitement suffisant des gaz de décharge, passant par l'élimination de l'humidité et d'autres contaminants, pour alimenter les microturbines.

c) **Utilisation directe des gaz pour la production de chaleur.** Le gaz de décharge peut également être utilisé comme combustible pour des chaudières ou des procédés industriels, tels que des opérations de séchage, des fours et la production de ciment et d'asphalte. Dans ces projets, le gaz nettoyé et séché est acheminé directement à un client proche pour être utilisé comme combustible de remplacement ou complémentaire⁵⁰ ;

d) **Autres utilisations (injection dans le réseau de gaz, piles à combustible).** Le gaz de décharge peut être vendu au réseau d'alimentation en gaz naturel une fois qu'il a satisfait à certaines normes de traitement. Cette option est appropriée dans des cas limités, par exemple lorsque de très grandes quantités de gaz sont disponibles. En outre, le gaz de décharge peut être transformé en carburant liquide pour véhicules, utilisé par des camions qui transportent les déchets vers une décharge. Les piles à combustible sont une autre technologie disponible pour la production d'énergie à partir de gaz de décharge. Par rapport aux technologies de combustion, les piles à combustible présentent l'avantage d'avoir un rendement énergétique généralement plus élevé et de ne pas générer de sous-produits de combustion tels que les NO_x, le monoxyde de carbone ou les oxydes de soufre. Si les piles à combustible sont utilisées pour produire de l'électricité à partir du CH₄ des décharges, un système d'épuration des gaz à haut rendement est nécessaire pour garantir que le catalyseur de la pile à combustible ne sera pas contaminé par des composants présents à l'état de traces dans le gaz. Jusqu'à présent, la sensibilité élevée des piles à combustible à la contamination s'est avérée un obstacle important à l'utilisation des gaz de décharge.

B. Réduction des émissions de CH₄ du réseau de gaz naturel

27. En général, les mesures visant à réduire les émissions de CH₄ provenant du réseau d'approvisionnement en gaz naturel peuvent être classées dans la catégorie des mesures techniques : perfectionnement du matériel ; mesures d'organisation ou de gestion ; remplacement de pratiques courantes, par exemple pour l'entretien et l'inspection ou la détection des fuites. Dans la chaîne d'approvisionnement en amont (production, traitement et transmission), la détection des fuites est souvent difficile en raison du fait que le CH₄ est inodore et incolore. Cependant, des approches ont récemment été mises au point pour détecter les fuites à l'aide de caméras à longueur d'onde infrarouge ou de capteurs adaptés capables de visualiser les fuites de CH₄, en combinaison avec des aéronefs et des drones pour surveiller sur de longues distances les émissions des gazoducs de transport, y compris au niveau des cuves de stockage et des postes de compression. Ces méthodes de détection s'appuient sur la faible densité volumétrique du CH₄ par rapport à l'air.

⁵⁰ Karakurt, Aydin et Aydiner, « Sources and mitigation ».

28. Les mesures potentielles de réduction des émissions sont énumérées ci-dessous, tandis que les solutions techniques les plus prometteuses (basées sur le recours à de nouveaux matériels) sont décrites dans les sections suivantes⁵¹ :

a) Réduction des émissions de fonctionnement : utilisation de systèmes pneumatiques et de compresseurs à émissions faibles ou nulles, avec réutilisation des gaz au lieu de les relâcher (voir sect. IV ci-dessous) :

- i) Remplacement des systèmes d'huile d'étanchéité des compresseurs centrifuges (récupération du CH₄ dans l'huile d'étanchéité) ;
- ii) Installation d'appareils pneumatiques à faible débit de purge ;
- iii) Recompression des gaz lors de l'arrêt d'un compresseur ou d'une canalisation ;

b) Réduction des émissions liées à la maintenance :

- i) Utilisation d'un compresseur mobile pour pomper dans une section voisine le gaz d'une section à évacuer ;
- ii) Utilisation d'une torche mobile pour brûler le gaz relâché pendant les travaux d'entretien des gazoducs ;
- iii) Utilisation du gaz pour produire de l'électricité et de la chaleur à usage local, par exemple pour les équipements de traitement du gaz ;

c) Programmes d'inspection et d'entretien : mesures organisationnelles visant à détecter les émissions à un stade précoce et à les arrêter, également appelées mesures de détection et de réparation des fuites :

- i) Optimisation des pratiques de mise à l'arrêt des compresseurs ;
- ii) Réduction au minimum de l'évacuation de gaz avant les opérations d'entretien de canalisations ;
- iii) Mise en place d'inspections périodiques et rentables pour la détection de fuites (également soutenues par des systèmes mobiles de détection des fuites à l'aide de capteurs).

29. Les mesures susmentionnées sont généralement pertinentes tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Cependant, plusieurs solutions techniques peuvent être limitées à un domaine d'application en particulier. Les émissions de CH₄ suscitant un intérêt croissant, plusieurs initiatives concertées d'acteurs du secteur visent à mieux comprendre l'ampleur de ces émissions, leurs sources potentielles et les solutions envisageables pour les réduire. Les plus connues de ces initiatives sont : le programme Natural Gas STAR (lancé par l'Agence de protection de l'environnement (EPA) des États-Unis), le partenariat mondial de la Banque mondiale pour la réduction du torchage de gaz, l'Initiative mondiale sur le méthane, l'Initiative des industries pétrolière et gazière pour le climat, la coalition des principes directeurs sur le méthane (Methane Guiding Principles) et la Coalition pour le climat et la qualité de l'air – Partenariat pour la réduction du méthane dans les opérations pétrolières et gazières⁵². À titre d'exemple, le programme Natural Gas STAR fournit une vue d'ensemble complète des mesures principalement technologiques, passant par le remplacement des équipements actuels et l'optimisation des inspections, de la maintenance et de la détection des fuites⁵³.

⁵¹ Marcogaz, « Potential ways » ; et US EPA, « Natural Gas STAR Programme: Recommended Technologies to Reduce Methane Emissions », disponible à l'adresse www.epa.gov/natural-gas-star-program/recommended-technologies-reduce-methane-emissions.

⁵² Marcogaz, « Potential ways ».

⁵³ US EPA, « Natural Gas STAR Programme ».

30. La récupération du CH₄ contenu dans l'huile d'étanchéité des compresseurs à joints humides et le remplacement des appareils pneumatiques à haut débit de purge⁵⁴ sont les mesures les plus prometteuses et les plus rentables (faible durée du retour sur investissement, voir la section suivante). Toutefois, l'état d'avancement de l'application de ces mesures n'est pas tout à fait clair, bien que leur viabilité économique soit évidente (par exemple, dans l'Union européenne, les appareils pneumatiques à haut débit de purge ne sont plus utilisés). Comme indiqué précédemment, il semble y avoir d'importantes possibilités d'amélioration, en particulier dans les systèmes de transport du gaz en Europe de l'Est. Les deux technologies (compresseurs à joint d'étanchéité et appareils pneumatiques à haut débit de purge) sont brièvement décrites ci-dessous, et des informations détaillées et des fiches d'information sont disponibles auprès du programme Natural Gas STAR⁵⁵.

31. Les compresseurs à joint mécanique humide sont une technologie courante et largement utilisée pour la compression du gaz naturel dans le réseau de transport. Ils provoquent des émissions de CH₄ dissous dans l'huile d'étanchéité. Une option prometteuse pour la réduction de ces émissions consiste à installer des équipements pour capturer et utiliser, ou brûler à la torche, le gaz qui s'échappe lors du processus de dégazage de l'huile d'étanchéité. Ce système se compose de deux séparateurs, l'un à haute pression et l'autre à basse pression. Le séparateur à haute pression fonctionne à la pression de l'huile d'étanchéité et le débit de gaz est contrôlé par un orifice en régime critique. Ce gaz capturé à haute pression est ensuite acheminé vers un déshuileur, afin d'éliminer toute huile d'étanchéité restante avant son utilisation. L'huile passe ensuite du séparateur haute pression au séparateur de dégazage atmosphérique, où le reste du gaz entraîné est extrait, puis évacué dans l'atmosphère. Ce volume de gaz est généralement minime, car la majeure partie du gaz peut être éliminée dans le séparateur à haute pression. L'huile d'étanchéité régénérée peut ensuite être recirculée dans le système d'huile d'étanchéité du compresseur. Ces systèmes ont été installés et exploités avec succès dans plusieurs postes de compression de gaz. Leur utilisation en tant que technique d'adaptation antipollution est une nouvelle application. Les systèmes de récupération après dégazage des joints humides pourraient être installés sur la plupart des sites équipés de compresseurs centrifuges à joints humides, bien qu'il puisse y avoir des limitations dues à des exigences de fonctionnement propres au site. Pour mettre en service ce système, il est obligatoire d'utiliser le gaz récupéré. Les exploitants disposent de plusieurs options pour utiliser au mieux le gaz, et ces choix auront une incidence économique sur le projet. Les options les plus courantes sont les suivantes⁵⁶ :

- a) Utilisation comme carburant pour turbine à haute pression ;
- b) Acheminement du gaz récupéré comme combustible à basse pression ;
- c) Acheminement vers le point d'aspiration du compresseur ;
- d) Utilisation comme gaz de balayage des torches.

32. Outre les compresseurs à joints humides, les régulateurs pneumatiques à haut débit de purge constituent une source majeure d'émissions de CH₄ à toutes les étapes de la chaîne d'approvisionnement en gaz naturel⁵⁷. Un régulateur pneumatique est un instrument automatisé permettant de maintenir un paramètre de processus, tel que le niveau de liquide, la pression, le différentiel de pression ou la température. En fonction de la source d'énergie, deux types de régulateurs pneumatiques sont définis dans le présent rapport :

- a) Régulateurs pneumatiques alimentés au gaz naturel, souvent sous pression ;
- b) Régulateurs pneumatiques ne fonctionnant pas au gaz naturel, par exemple un instrument alimenté par des sources autres que le gaz naturel sous pression, comme l'énergie électrique provenant, par exemple, de panneaux solaires et de systèmes de stockage.

⁵⁴ ICF International, « Economic Analysis of Methane Emission Reduction Opportunities in the U.S. Onshore Oil and Natural Gas Industries » (s.p., 2014).

⁵⁵ US EPA, « Natural Gas STAR Programme ».

⁵⁶ ICF International, « Economic Analysis ».

⁵⁷ US EPA, « Lessons Learned ».

33. Les installations modernes n'utilisent plus de régulateurs pneumatiques fonctionnant au gaz naturel. La plupart des régulateurs sont électriques. Ce n'est que dans des environnements dangereux que les régulateurs pneumatiques à base d'air peuvent être une option, bien qu'il existe également des régulateurs électriques intrinsèquement sûrs. Il existe un grand nombre de modèles de régulateurs pneumatiques alimentés au gaz naturel, conçus pour des utilisations très diverses, et on peut les distinguer suivant leurs caractéristiques d'émission :

a) Les régulateurs pneumatiques à purge continue se caractérisent par un flux continu de gaz naturel d'alimentation pneumatique vers le dispositif de régulation du processus (par exemple, maîtrise du niveau, de la température ou de la pression), où la pression du gaz d'alimentation est modulée par l'état du processus, puis le gaz s'écoule vers le contrôleur de vanne, où la valeur (signal) est comparée à la valeur de consigne du processus, pour ajuster la pression du gaz dans l'actionneur de la vanne. Les régulateurs à purge continue peuvent être subdivisés en deux types en fonction de leur débit de purge⁵⁸ :

i) Faible débit de purge, avec un débit de purge inférieur ou égal à 0,17 m³ par heure (6 scf/h : 6 pieds cubes standard par heure) ;

ii) Haut débit de purge, avec un débit supérieur à 0,17 m³/h.

b) Les régulateurs pneumatiques intermittents sont des régulateurs pneumatiques qui n'évacuent pas des gaz en continu. Fonctionnant au gaz naturel, ils n'effectuent pas de purge en continu mais sont actionnés à l'aide de gaz naturel sous pression ;

c) Les régulateurs pneumatiques à purge nulle sont des régulateurs pneumatiques qui ne purgent pas le gaz naturel dans l'atmosphère. Il s'agit de dispositifs étanches fonctionnant au gaz naturel, qui relâchent le gaz dans une canalisation en aval au lieu de le rejeter dans l'atmosphère.

34. Outre le remplacement d'appareils pneumatiques à haut débit de purge et la récupération du CH₄ provenant des compresseurs à joints humides, il est d'une importance primordiale pour la réduction des émissions de CH₄ d'éviter les émissions fugitives. Dans ce contexte, la détection précoce des fuites est l'action la plus importante. Les progrès récents en matière de détection, d'analyse et de technologie mobile ont permis de créer un certain nombre de solutions de détection des fuites de gaz qui sont nettement plus performantes que les méthodes traditionnelles. Ces appareils peuvent détecter le CH₄ provenant de fuites de gaz naturel, à des concentrations de 1 partie par milliard (ppb) ou moins, et réagir en moins d'une seconde. Les solutions mobiles actuelles de détection des fuites de gaz s'appuient sur des capteurs laser avancés, la technologie du système GPS et des logiciels d'analyse, afin d'améliorer la rapidité et la précision du repérage et de la localisation des fuites de gaz.

35. Outre les capteurs, la détection mobile des fuites peut être facilitée par la vision artificielle au moyen de caméras infrarouges et de drones, afin de couvrir de plus grandes zones, par exemple le long des gazoducs. En outre, les images satellites utilisées pour la détection des grandes sources d'émission de CH₄ peuvent contribuer à la détection précoce des émissions fugitives dans le réseau de gaz naturel. En utilisant les données du satellite Copernicus Sentinel-5P, l'Agence spatiale européenne a mis au point un système conceptuel permettant de suivre et d'attribuer les émissions de CH₄ dans le monde⁵⁹.

C. Réduction des émissions de CH₄ provenant des installations de production de biogaz

36. Les mesures visant à réduire les émissions de CH₄ des installations de biogaz sont comparables à celles applicables au système d'approvisionnement en gaz naturel. Outre l'utilisation de technologies modernes, ainsi que l'exploitation et l'entretien corrects des installations, la détection précoce des fuites, en particulier, est un facteur clef pour la

⁵⁸ ICF International, « Economic Analysis ».

⁵⁹ Agence spatiale européenne, « Mapping methane emissions on a global scale », 4 mai 2020, disponible à l'adresse https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-5P/Mapping_methane_emissions_on_a_global_scale.

réduction des émissions. Cependant, parce que les installations de production de biogaz sont relativement petites et décentralisées, la détection précoce des fuites est difficile à mettre en place.

37. Les causes des fuites sont nombreuses et on peut en trouver dans presque toute l'installation, dans les sections contenant du biogaz. Les raisons sont en partie l'emploi de technologies obsolètes ou insuffisantes. De plus, un certain taux de diffusion de CH₄ est toléré dans certains éléments, tels que les couvertures des digesteurs. Les directives de sécurité de l'Association allemande d'assurance responsabilité civile des employeurs agricoles définissent par exemple, pour le CH₄, un seuil de perméabilité inférieur à 1 000 cm³*mm/(m²*d*bar)⁶⁰. Les émissions inférieures au seuil ne sont donc pas incluses dans les statistiques.

38. Cela peut paraître inattendu, mais la production combinée de chaleur et d'électricité est également une source potentielle d'émissions de CH₄. Lorsque la combustion dans le moteur n'est pas complète, il peut y avoir production imprévue de CH₄, ce qui entraîne une fuite de CH₄ dans les gaz d'échappement. L'ampleur de la production imprévue de CH₄ dépend du type de moteur et, le cas échéant, du traitement en aval des gaz d'échappement, ainsi que de la qualité du gaz et des conditions d'exploitation. Par conséquent, bien que l'utilisation et le développement des technologies modernes soient essentiels, il est également important que les installations soient exploitées et entretenues par du personnel qualifié.

IV. Conclusions

39. Les meilleures techniques pour éviter les émissions de CH₄ dépendent fortement de la source d'émission et des conditions propres au site. Contrairement aux émissions industrielles classiques, qui sont dans la plupart des cas atténuées ou supprimées par des équipements en bout de chaîne ou par la substitution de matières premières, les émissions de CH₄ sont diverses et un large éventail de mesures est nécessaire pour les réduire. Les techniques les plus importantes concernant les émissions provenant des décharges et du réseau de gaz naturel ont été décrites dans le présent document.

40. Les émissions de CH₄ provenant des décharges sont la plus importante source non agricole d'émissions de CH₄ en Europe et sont responsables d'environ 20 % des émissions totales. Au niveau mondial, la part des émissions de gaz de décharge se situe dans une fourchette similaire à celle de l'Europe. Dans les décharges, le CH₄ se forme par digestion anaérobie des déchets hydrocarburés. La réduction des déchets mis en décharge est la mesure la plus importante pour éviter/réduire ces émissions et peut être obtenue par le compostage des déchets biodégradables, un tri et un recyclage plus efficaces, ou l'incinération des déchets contenant des hydrocarbures non biologiques (par exemple, pour la production combinée de chaleur et d'électricité). Pour la réduction des émissions de CH₄ provenant des décharges existantes, les options les plus pertinentes sont les suivantes (voir par. 26 ci-dessus) :

- a) Collecte et utilisation des gaz ;
- b) Oxydation du CH₄ dans les biocouvertures ou par biofiltration à l'aide d'organismes méthanotrophes (bactéries) qui transforment le CH₄ en CO₂ et H₂O ;
- c) Aération de la décharge pour éviter la digestion anaérobie et pour améliorer les processus biologiques afin d'inhiber la production de CH₄.

41. Le réseau de production et de distribution du gaz naturel est une autre source importante d'émissions de CH₄. Étant donné que les technologies de production, les compressions employées et les réglementations en matière de pression varient d'une région à l'autre, toutes les options énumérées ci-après ne sont pas applicables de la même manière dans tous les pays. En outre, il convient d'établir une distinction générale entre la production, le transport et la distribution aux utilisateurs finaux, car, par exemple, du point de vue de l'Union européenne, la production et le transport ont lieu principalement en dehors de l'Union européenne (la Fédération de Russie étant l'un des principaux fournisseurs de gaz

⁶⁰ Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, « Sicherheitsregeln für Biogasanlagen: Technische Information 4 » (s.p., 2016) (uniquement en allemand).

naturel). En général, ces mesures peuvent être classées en deux catégories : les mesures techniques, qui consistent à remplacer les équipements existants, et les mesures organisationnelles ou de gestion, qui consistent à modifier les pratiques courantes, par exemple en matière d'entretien et d'inspection. En résumé, les mesures suivantes ont été recensées dans le présent document comme étant les plus pertinentes (voir par. 28 ci-dessus) :

- a) Réduction des émissions de fonctionnement grâce à l'utilisation de systèmes pneumatiques et de compresseurs à émissions faibles ou nulles, avec réutilisation des gaz au lieu de les relâcher ;
- b) Réduction des émissions liées à la maintenance en évitant l'évacuation des gaz à l'air libre ;
- c) Programmes d'inspection et d'entretien visant à détecter les fuites et les émissions fugitives à un stade précoce ;

42. Les installations de biogaz sont également devenues des sources d'émissions de CH₄ à plusieurs étapes de leurs processus de production et du fait de nombreuses unités fonctionnelles techniques. Il en ressort que la réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui est une des principales raisons de la production de biogaz, s'en trouve considérablement diminuée. Il est envisagé de poursuivre la recherche et le développement dans ce domaine afin d'augmenter la quantité de CH₄ utilisable dans la pratique et d'exploiter ainsi davantage le potentiel théorique actuel de réduction des émissions.

43. De plus amples détails sur les technologies de réduction susmentionnées, avec des figures et des tableaux illustratifs, sont fournis dans le document technique informel sur les techniques de réduction des émissions de CH₄ en Europe provenant des gaz de décharge, du système d'approvisionnement en gaz naturel et des installations de biogaz, que l'Équipe spéciale des questions technico-économiques avait mis à la disposition du Groupe de travail des stratégies et de l'examen à sa cinquante-huitième session (Genève, 14-17 décembre 2020)⁶¹.

⁶¹ https://unece.org/fileadmin/DAM/env/documents/2020/AIR/WGSR/TFTEI_methane_background_document-december_2020.pdf.