



Commission économique pour l'Europe**Comité de l'énergie durable****Groupe d'experts du méthane provenant des mines
de charbon et de l'action pour une transition juste****Dix-neuvième session**

Genève, 18 et 19 mars 2024

Point 6 de l'ordre du jour provisoire

Plan de travail pour 2024-2025**Guide des pratiques exemplaires concernant le traitement
du méthane présent dans l'air de ventilation****Note du secrétariat¹****I. Introduction**

1. Dans un monde de plus en plus engagé dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre, qui doit s'effectuer à grande échelle si l'on veut atteindre les objectifs mondiaux, l'atténuation des émissions de méthane provenant des grandes sources ponctuelles est l'une des solutions les plus faciles à mettre en œuvre.
2. Le méthane est produit lors du processus de formation du charbon. Il est libéré lors de l'extraction du charbon, ce qui pose un problème de sécurité, car, à certaines concentrations (entre 5 et 15 %), le méthane est explosible au contact de l'air. La quantité de méthane présente dans un site précis dépend de nombreux facteurs tels que la perméabilité et la profondeur du filon de charbon.
3. Dans la plupart des mines à ciel ouvert, le méthane est libéré dans l'atmosphère pendant l'extraction du charbon ou doit être capté avant l'exploitation minière. Les mesures visant à atténuer les émissions de méthane présent dans l'air de ventilation sont donc axées sur les mines souterraines.
4. Dans les mines de charbon souterraines, il faut que le volume d'air de ventilation circulant dans la mine soit suffisant pour diluer le méthane libéré de façon à réduire les concentrations à des niveaux inférieurs au seuil d'explosivité, avant évacuation vers la surface par des puits d'aérage.

¹ Le Secrétariat a fourni des conseils et une assistance pour l'élaboration du présent document. Richard Mattus, membre du Groupe d'experts du méthane provenant des mines de charbon et de l'action pour une transition juste, en est l'auteur principal. Des membres du Bureau du Groupe d'experts (David Creedy, Raymond Pilcher, Clark Talkington et Volha Roshchanka) ont examiné le document et y ont apporté leur contribution. Le document a également fait l'objet d'un examen par un certain nombre d'experts membres et non-membres du Groupe d'experts.



5. Il existe trois grands moyens d'évacuer le méthane présent dans les mines de charbon souterraines :
- Les systèmes de captage des gaz de mine ;
 - Les puits d'aérage ;
 - Les réseaux de fractures qui se connectent à la surface.
6. Alors que la concentration en méthane du gaz de mine se situe généralement entre 30 et 60 % (voire 100 % dans des cas extrêmes), celle du méthane présent dans l'air de ventilation est généralement inférieure à 1 % (0,3 à 0,7 % en moyenne). Les limites légales de concentration du méthane présent dans l'air de ventilation varient d'un pays à l'autre, certains pays autorisant des concentrations supérieures à 1 % sous certaines conditions.
7. Sans un carburant supplémentaire, il est difficile de détruire le méthane présent dans l'air de ventilation en faible concentration et de le convertir en CO₂, qui est un gaz à effet de serre beaucoup moins puissant (c'est-à-dire dont le potentiel de réchauffement de la planète est très inférieur).
8. En règle générale, on estime que le méthane présent dans l'air de ventilation représente environ 70 % des émissions mondiales de méthane provenant des mines de charbon souterraines. Selon certaines études, cette part serait largement supérieure.
9. Le puits de ventilation d'une grande mine de charbon peut rejeter environ un million de mètres cubes par heure (m³/h), ce qui équivaut à environ 634 000 pieds cubes (soit environ 17 000 m³) par minute d'air de mine contenant 0,8 % de méthane. Sur une année, cela correspond à environ 50 000 tonnes de méthane provenant d'une seule source d'émission.

II. Avantages potentiels pour le climat

10. Près de 200 pays ont signé l'Accord de Paris, s'engageant par là à réduire considérablement leurs émissions de gaz à effet de serre. Malgré cela, les émissions mondiales continuent d'augmenter. Selon l'Agence internationale de l'énergie (AIE), la production mondiale d'énergie a augmenté d'environ 65 % depuis 1990. Au cours de cette période, l'approvisionnement énergétique fondé sur le charbon, le pétrole ou le gaz naturel a augmenté dans les mêmes proportions. En conséquence, malgré tous les efforts déployés, la part des énergies fossiles dans le bouquet énergétique mondial reste au même niveau qu'il y a trente ans, avant la signature du Protocole de Kyoto, soit environ 80 %.
11. Le charbon, qui est le combustible fossile dont les effets négatifs sur l'environnement sont les plus considérables, représente encore 25 à 30 % du bouquet énergétique total. Il faut accélérer la transition vers l'abandon du charbon en tant que combustible. En attendant, étant donné que l'élimination progressive du charbon est une entreprise de longue haleine, de gros efforts doivent être faits pour réduire au minimum les émissions de gaz à effet de serre liées à l'extraction du charbon et à son utilisation.
12. Lorsque le méthane est rejeté dans l'atmosphère, son temps de renouvellement (temps de séjour) est d'environ douze ans, après quoi il s'oxyde en CO₂. Toutefois, le méthane est un gaz à effet de serre 30 fois plus puissant que le CO₂ sur une période de cent ans, et 82 fois sur une période de vingt ans. Réduire les émissions de méthane aurait donc un effet immédiat et très puissant sur le ralentissement du réchauffement de la planète et contribuerait grandement à la lutte contre les changements climatiques.
13. En raison du volume des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation et étant donné qu'il s'agit d'une source ponctuelle de pollution, le fait de les atténuer permettrait d'obtenir rapidement des résultats favorables. Par exemple, le volume de méthane rejeté par le puits d'aérage d'une grande mine de charbon, soit 50 000 tonnes, a les mêmes effets sur le réchauffement de la planète que les émissions produites par un million de vaches ou que les émissions de CO₂ générées soit par une centrale électrique au charbon de 500 MWe, soit par deux millions de voitures à moteur à combustion (les chiffres donnés dans les deux derniers exemples sont fondés sur des comparaisons effectuées sur la base de la conversion du méthane en CO₂ sur une période de vingt ans) (voir l'annexe I).

III. Solutions technologiques pour le traitement du méthane présent dans l'air de ventilation

14. Pour des raisons de sécurité, il faut éviter que la concentration du méthane se situe dans sa plage d'explosivité (5 % à 15 %). Le méthane capté, dont la concentration est supérieure à ce seuil, peut être utilisé sans risque pour faire fonctionner des moteurs à gaz, produire de l'électricité et/ou (en cas de concentration très élevée) alimenter le réseau de gaz naturel. Une autre solution d'atténuation est le brûlage du méthane, qui peut être effectué en toute sécurité lorsque la concentration est de l'ordre de 20 %.

15. Il est cependant difficile de traiter le méthane présent dans l'air de ventilation pour deux raisons :

a) Les volumes d'air de ventilation à traiter (pour supprimer le méthane) sont énormes ;

b) La concentration du méthane qui doit être détruit (atténué/oxydé) est extrêmement faible.

16. À ce jour, il n'existe qu'une seule technologie capable de traiter à grande échelle le méthane présent dans l'air de ventilation, à savoir l'oxydation thermique régénératrice, qui a été mise au point dans les années 1970 pour éliminer les hydrocarbures rejetés sous forme gazeuse, à de faibles concentrations.

17. Au fil des années, des dizaines de milliers d'installations d'oxydation thermique régénératrice ont été mises en service avec succès, notamment pour atténuer les odeurs désagréables, détruire les solvants utilisés dans les secteurs de l'imprimerie et de la peinture ou traiter les émissions des industries chimiques, pétrochimiques et pharmaceutiques, des dépôts de pétrole ou de la production de biogaz.

18. Plusieurs des applications de cette technologie font intervenir des substances telles que l'éther, l'hydrogène et d'autres gaz inflammables ou explosifs, et doivent donc respecter des exigences très élevées en matière de sécurité ; c'est pourquoi les systèmes d'oxydation thermique régénératrice comportent des dispositifs renforcés de sécurité sanitaire.

19. Dans les années 1990, les fournisseurs de systèmes d'oxydation thermique régénératrice se sont intéressés au traitement du méthane présent dans l'air de ventilation. Après avoir effectué des essais poussés et adapté leurs systèmes, ils ont mis en service au début du XXI^e siècle les premières installations commerciales à grande échelle, qui sont exploitées avec succès depuis.

Comment l'oxydation thermique régénératrice est-elle utilisée pour détruire le méthane présent dans l'air de ventilation des mines de charbon ?

Le principe de base de la technologie d'oxydation thermique régénératrice est de faire passer l'air de ventilation sur un lit céramique préchauffé à la température normale d'oxydation du méthane (850-900 degrés C), ce qui provoque l'oxydation de ce dernier, le lit absorbant la chaleur qui en résulte.

Avec cette technologie, l'efficacité de l'échange thermique est telle qu'une concentration de méthane de 0,2 % seulement suffit pour entretenir le processus de destruction (oxydation) du gaz. La valeur énergétique des concentrations supérieures à ce niveau peut être récupérée sous forme de chauffage, de refroidissement et/ou d'électricité.

20. Pour des raisons liées à la conception des systèmes, de nombreux fournisseurs ont fixé à environ 0,7 % la limite de concentration maximale pour le traitement du méthane présent dans l'air de ventilation. Certains systèmes d'oxydation thermique régénératrice peuvent fonctionner jusqu'à des concentrations de 1 %, voire 1,2 % de méthane, mais à ce niveau, les législations nationales en matière de sécurité applicables dans la plupart des pays (qui garantissent une marge de sécurité adéquate par rapport à la plage d'explosivité) freinent le développement de ces produits.

21. Compte tenu de l'énorme marché potentiel que représente le traitement du méthane présent dans l'air de ventilation, d'autres technologies ont été testées. Il s'agit notamment de catalyseurs (qui pourraient abaisser la température d'oxydation requise, mais la catalyse du méthane est difficile à réaliser), de turbines à gaz pauvre (qui, jusqu'à présent, n'ont été efficaces qu'à des concentrations d'au moins 2 à 3 %) ou de concentrateurs (qu'il est difficile d'appliquer à la molécule de méthane).

22. En raison de la difficulté à traiter d'énormes volumes d'air avec une concentration de méthane extrêmement faible, la plupart des technologies de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation autres que l'oxydation thermique régénératrice n'ont pas dépassé le stade de l'essai en laboratoire ou de la phase pilote.

23. D'autres technologies de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation exploitables dans des installations industrielles pourraient être développées à l'avenir, mais, à ce jour, seule la méthode de l'oxydation thermique régénératrice s'est avérée efficace et peut être déployée facilement.

IV. Rapport coût-efficacité des solutions disponibles

24. Afin d'atténuer l'ensemble des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation, il faut disposer d'un équipement capable de traiter la totalité du volume d'air de ventilation sortant de la mine. Le coût de l'investissement nécessaire est principalement lié au volume d'air (ventilation) à traiter et dépend, dans une mesure largement moindre, de la concentration de méthane. Par conséquent, lorsque la concentration est élevée, les puits produisent plus d'émissions, qu'il est possible d'atténuer à un coût relativement faible par unité d'émission ; c'est pourquoi ce sont ces puits qui devraient être équipés en priorité d'installations de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation.

25. La durée de vie moyenne d'un puits d'aérage se situe entre cinq et quinze ans, les exploitants remplaçant l'infrastructure de ventilation à un rythme différent selon la région houillère dans laquelle les installations minières sont situées. Les compagnies minières installent progressivement de nouveaux puits d'aérage.

26. Pour une usine standard de traitement de méthane présent dans l'air de ventilation, les dépenses d'investissement s'élèvent à environ 14 millions de dollars des États-Unis (+/-15 %), pour un flux d'air de ventilation de 500 000 m³/h. Bien que ce montant puisse paraître élevé, il reste très compétitif par rapport à d'autres options de réduction des émissions.

27. La durée de vie théorique d'une infrastructure d'atténuation des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation est d'environ vingt ans, mais compte tenu de la nature du traitement, elle dépend de la durée de vie du puits d'aérage dont elle traite les émissions. Toutefois, si l'installation a été conçue de façon modulaire, ses principaux éléments peuvent être démontés et déplacés vers un nouveau site.

28. En outre, lorsque cela est possible, il convient d'encourager l'utilisation de l'énergie libérée en tant que sous-produit du processus d'atténuation des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation. La valeur de cette énergie, qui peut être utilisée pour chauffer ou refroidir, alimenter des activités industrielles ou produire de l'électricité, améliorera la rentabilité de l'investissement.

29. Le coût du traitement du méthane présent dans l'air de ventilation, évalué sur une période de dix ans d'exploitation, est actuellement inférieur à 9 dollars par tonne d'équivalent dioxyde de carbone (tCO_{2e}) sur une période de cent ans, et inférieur à 3 dollars par tCO_{2e} sur une période de vingt ans.

30. Une installation de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation est composée de plusieurs unités d'oxydation thermique régénératrice, chacune traitant une partie du flux d'air. Pour doubler la capacité de traitement, il suffit de doubler le nombre d'unités. Les coûts de certains des éléments principaux d'une installation de traitement étant plus ou moins linéaires, le coût du traitement de la moitié du volume évoqué précédemment, soit 250 000 m³/h, serait donc d'environ 8 millions de dollars (+/-15 %), et le traitement du

double de ce volume, soit un million m³/h, reviendrait à environ 25 millions de dollars (+/-15 %). Il convient toutefois de noter qu'il ne s'agit là que de montants approximatifs. Il faut évaluer soigneusement la situation particulière de chacun des sites afin d'estimer avec précision les coûts réels.

31. Le financement de l'installation de traitement est un troisième élément de coût important à prendre en compte, qui s'ajoute aux dépenses d'équipement et d'exploitation. Pour attirer l'investissement, le coût du traitement doit être compensé par la valeur attribuée à la réduction des émissions de gaz à effet de serre réalisées. Il peut s'agir d'une économie réalisée (en évitant une taxe/pénalité) ou d'un revenu généré (crédits d'émission de carbone). En l'absence d'un tel mécanisme, l'investissement dans le traitement du méthane présent dans l'air de ventilation ne se justifie pas sur le plan économique. Malheureusement, de telles incitations financières ont été rares, ce qui est la principale raison pour laquelle les investissements n'ont pas été plus nombreux.

32. Une autre possibilité permettant de réduire les émissions de gaz à effet de serre est le captage et stockage du dioxyde de carbone (CSC), qui consiste généralement à capter le CO₂ provenant de sources d'émissions importantes telles que les installations de production d'énergie à base de combustibles fossiles, les cimenteries et les aciéries, et à le pomper pour le stocker dans un réservoir géologique. Toutefois, le coût de cette technologie reste très élevé ; en décembre 2023, il était de 100 à 150 dollars par tonne de CO₂ (évaluée pour une durée du projet de vingt-cinq ans), ce qui est nettement supérieur aux technologies de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation exposées ci-dessus.

Surmonter les obstacles

33. Malgré l'efficacité des projets de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation, les coûts afférents, le manque de sensibilisation et les problèmes de sécurité ont fait obstacle au développement de nombre d'entre eux.

1. Coûts

34. Les projets de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation nécessitent des investissements et des financements. Les compagnies minières du monde entier doivent commencer à prioriser l'investissement dans de tels projets, même si cela n'est pas directement lié à leur activité principale, à savoir la production de charbon. Pour ce faire, il faudrait susciter l'intérêt de tiers investisseurs et concepteurs de projet. Malheureusement, en l'absence des incitations financières évoquées plus haut, il est difficile d'inciter les compagnies charbonnières ou d'autres parties à investir dans ce domaine.

35. L'amélioration du captage des gaz, qui permettrait de réduire la quantité de gaz émise par le système de ventilation de la mine, est une autre possibilité de réduction des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation.

36. Le dégrisoutage produit généralement un flux dont la concentration en méthane est suffisamment élevée pour qu'il puisse être utilisé directement dans des moteurs à gaz utilisés pour des projets de production combinée de chaleur et d'électricité, dans des brûleurs industriels, dans des chaudières et pour d'autres utilisations similaires, ou vendu pour être injecté dans un réseau de distribution de gaz naturel ou dans des gazoducs de transport. Le fait de procéder au captage avant, plutôt que pendant l'exploitation minière pourrait réduire encore davantage les coûts (étant donné que la quantité de méthane libéré est moindre et que le volume d'air de ventilation nécessaire diminue également, ce qui permet d'économiser l'énergie nécessaire au fonctionnement du ventilateur). Cependant, du fait de certaines caractéristiques géologiques telles qu'une faible perméabilité, il n'est pas toujours possible de capter le gaz de la mine avant l'extraction du charbon.

37. Compte tenu de la valeur économique de l'énergie produite à partir du gaz capté et du fait que ces projets contribuent directement à renforcer la sécurité dans les mines (le gaz étant généralement extrait au moyen d'un réseau de canalisations fermé qui le maintient à l'écart du personnel et des sources d'inflammation), ils sont plus faciles à financer que les projets de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation.

38. En l'absence de toute possibilité d'utilisation rentable du gaz capté, celui-ci peut être brûlé en dernier recours. Cette méthode, comme le traitement du méthane présent dans l'air de ventilation, repose sur l'oxydation préalable du méthane (en CO₂) avant son rejet dans l'atmosphère, ce qui affaiblit le potentiel de réchauffement planétaire des émissions résiduelles.

39. Toutefois, le captage du gaz n'est pas toujours possible. En outre, même lorsque cela est possible et qu'un captage à grande échelle est effectué, les émissions de méthane présent dans l'air de ventilation restent généralement les principales émissions de la mine. Par conséquent, il est nécessaire de s'attaquer au méthane présent dans l'air de ventilation si l'on veut réduire efficacement les émissions de méthane provenant des mines de charbon.

40. Comme cette conclusion s'impose de plus en plus, l'atténuation des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation suscite un intérêt croissant, et de nouveaux fournisseurs disposant d'une expérience acquise dans d'autres secteurs industriels commencent à apparaître et à acquérir l'expérience et les compétences nécessaires, ce qui contribue à la diversité et à la compétitivité du marché.

2. Sensibilisation

41. Pour la sécurité des travailleurs et de l'exploitation, il faut évacuer vers la surface le méthane présent dans les galeries des mines de charbon souterraines. Étant donné que, dans de nombreux pays, il n'existe pas d'incitation à réduire les rejets directs de méthane dans l'atmosphère, les exploitants laissent souvent les gaz de mine s'échapper librement des puits d'aéragé et des systèmes de captage des gaz, sans prendre aucune mesure pour les prévenir ou les réduire au minimum.

42. Les exploitants des mines n'ayant aucun intérêt économique à s'attaquer au problème ou même à reconnaître son existence, ils ne connaissent pas les solutions existantes en matière d'atténuation et ne sont pas motivés à s'informer. La mise en place d'incitations ou de sanctions financières (carottes/bâtons) contribuerait à changer cette attitude.

3. Sécurité

43. En raison du risque d'accidents dus au méthane présent dans les mines, la sécurité est la priorité absolue des exploitants. L'ajout d'une nouvelle installation (de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation) à proximité du puits d'aéragé de la mine est une préoccupation majeure pour de nombreux mineurs.

44. Pour éviter l'inflammation et l'explosion, les concentrations de méthane dans l'air doivent toujours rester inférieures à la plage d'explosivité (5 à 15 %). En règle générale, les gaz captés se situent bien au-dessus de cette fourchette (généralement plus de 25 %), alors que le méthane présent dans l'air de ventilation est maintenu bien en deçà (0,5 à 1 %).

45. La sécurité est le principal critère de conception des installations de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation. Il s'applique à toutes les parties de l'installation (réseau de gaines et équipements) qui sont en contact avec le flux de méthane présent dans l'air de ventilation. Les préoccupations liées à la sécurité dans les mines sont très similaires à celles que rencontrent les exploitants d'installations industrielles qui utilisent la technologie d'oxydation thermique régénératrice pour atténuer les émissions de gaz, lorsqu'il existe un risque que le mélange de gaz atteigne le niveau d'explosivité. Les fournisseurs chevronnés de systèmes d'oxydation thermique régénératrice, qui sont exposés à ces risques depuis des décennies, savent comment y faire face.

46. Chaque application de la technologie d'oxydation thermique régénératrice s'accompagne de certains problèmes à surmonter, et les particularités du traitement du méthane présent dans l'air de ventilation doivent être prises très au sérieux. Par exemple, une installation de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation ne peut entraver le fonctionnement des ventilateurs de la mine, et des précautions suffisantes doivent être prises pour que la concentration du méthane traité dans l'installation soit inférieure au niveau auquel il devient inflammable. En outre, la température d'oxydation du méthane provenant des mines de charbon peut être plus élevée que celle du gaz naturel, par exemple, et le système d'oxydation thermique régénératrice doit être conçu de manière à tenir compte de cette

hypothèse. Par ailleurs, l'air de ventilation peut contenir des poussières de charbon et d'autres matières qui doivent être prises en compte dans la conception du système de gaines et l'aménagement intérieur du système. Ces risques sont réels et propres au traitement du méthane présent dans l'air de ventilation, mais ils sont loin d'être inhabituels dans de nombreuses autres applications industrielles. Il est donc essentiel que ces problèmes soient résolus par des fournisseurs expérimentés, dont les installations sont conçues pour y répondre et ont fait leurs preuves dans la durée.

V. Étapes préparatoires à l'élaboration d'un projet de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation

47. Il s'agit de suivre un processus visant à :

a) Disposer d'informations internes sur les éléments essentiels : la concentration de méthane présent dans l'air de ventilation, l'emplacement de l'installation et la part des gaz captés pouvant être transférés à l'installation de traitement ;

b) Disposer d'informations externes sur la valeur potentielle de la réduction d'émissions prévue et sur les dernières avancées de la technologie de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation ;

c) Recenser les partenaires qui pourraient participer au financement du projet (concepteurs de projets et fournisseurs de systèmes de traitement).

48. Ce processus se déroule en huit étapes à suivre avant de lancer un projet de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation :

a) *Suivi de la concentration de méthane présent dans l'air de ventilation* : suivre les concentrations de méthane présent dans l'air de ventilation sur une période aussi longue que possible. Cela facilitera la prise de décisions relatives à la conception de la future installation ;

b) *Sélection de l'emplacement* : étudier les emplacements potentiels de l'installation de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation, afin qu'elle se trouve à proximité de la sortie du puits d'évacuation (le puits d'aérage dont elle traite les émissions) ;

c) *Évaluation de la situation en matière de gaz capté* : étudier les possibilités d'injecter du gaz capté dans l'air de ventilation avant le traitement afin, soit de stabiliser la concentration de méthane présent dans l'air de ventilation (pour l'utiliser aux fins de la production d'énergie), soit de réduire le niveau d'énergie du système et la quantité de méthane dont les émissions doivent être atténuées ;

d) *Détermination de la valeur d'atténuation des émissions* : déterminer la valeur de la réduction des émissions de méthane devant résulter du projet de traitement (vérifier les possibilités d'obtenir des crédits d'émissions ou des compensations des émissions de carbone, ou d'éviter des pénalités) ;

e) *Obtention du financement* : rechercher des investisseurs potentiels et garantir le financement du projet ;

f) *Sélection du concepteur du projet* : sélectionner le concepteur du projet (l'exploitant de la mine ou une tierce partie) ;

g) *Sélection du fournisseur du système de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation* : sélectionner le fournisseur du système d'oxydation thermique régénératrice en choisissant l'une des possibilités suivantes :

i) Un fournisseur ayant une longue expérience du traitement du méthane présent dans l'air de ventilation ;

ii) Un fournisseur ayant une expérience d'autres applications industrielles pertinentes du système ;

iii) Un fournisseur souhaitant utiliser une technologie en cours de développement, à la recherche d'un site approprié pour un projet pilote à grande échelle ;

h) *Veille technologique* : bien connaître l'état de la technologie de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation et suivre son évolution.

VI. Conclusions

49. *Méthane et CO₂* : les mesures de réduction des émissions de méthane permettent d'obtenir un effet immédiat et puissant, contrairement à la lutte contre les émissions de CO₂. Du point de vue du climat, il s'agit d'un moyen de gagner du temps jusqu'à ce que les mesures prises pour réduire dans de grandes proportions les émissions de CO₂ produisent leurs effets.

50. *Taille de la source d'émission* : la taille de la source d'émission détermine la nature des mesures à prendre pour réduire les émissions d'un gaz à effet de serre donné. Le puits d'aérage d'une mine de charbon est une source majeure d'émissions de méthane. Par conséquent, l'atténuation des émissions du méthane présent dans la ventilation provenant d'un grand puits d'aérage peut avoir un effet positif très important sur le réchauffement de la planète (voir l'annexe I).

51. *Nécessité d'attribuer une valeur à la réduction des émissions* : il faut attribuer une valeur à l'atténuation des émissions pour favoriser le lancement de projets de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation. Pour encourager l'investissement, il faut que les émissions de méthane aient un coût ou que leur réduction apporte une valeur ajoutée.

52. *Coûts* : pour ce qui est du coût de l'atténuation d'une tonne d'équivalent CO₂, le traitement du méthane présent dans l'air de ventilation est bien plus économique que d'autres méthodes de réduction des gaz à effet de serre, comme le captage et stockage du dioxyde de carbone.

Annexe I

Effets des émissions provenant de diverses sources sur le réchauffement de la planète

1. Émissions de méthane présent dans l'air de ventilation provenant d'un puits d'aéragé d'une grande mine de charbon

1. Le puits d'aéragé d'une grande mine, qui rejette un million de m³/h d'air avec une concentration de méthane de 0,8 %, émet environ 50 000 tonnes de méthane par an. Sur la base d'une efficacité d'évacuation de 98 %, d'une disponibilité de 96 %, d'une densité de 0,71 et d'un taux de CO₂ produit de 1,95, les émissions annuelles d'équivalent CO₂ correspondantes s'élèvent à environ 1 500 000 tonnes sur une base de cent ans (facteur de réchauffement planétaire de 30) et à environ 4 100 000 tonnes sur une base de vingt ans (facteur de réchauffement planétaire de 82).

2. Les émissions qui en résultent sont linéaires, ce qui signifie qu'à concentration égale, les émissions évoluent proportionnellement au volume d'air traité, et qu'elles diminuent de moitié quand la concentration de méthane en fait de même.

2. Comparaison entre les émissions du puits d'aéragé d'une grande mine de charbon et le méthane produit par les bovins

3. Selon l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA), une vache émet chaque année entre 60 et 120 kg de méthane. Par conséquent, 50 000 tonnes de méthane (soit les émissions annuelles moyennes de méthane présent dans l'air de ventilation provenant d'un puits d'aéragé d'une grande mine de charbon) correspondent aux émissions de méthane générées par environ un million de vaches.

3. Comparaison entre les émissions du puits d'aéragé d'une grande mine de charbon et les émissions des centrales électriques au charbon

4. Selon l'Administration américaine d'information sur l'énergie (EIA), une centrale électrique au charbon émet 2,3 livres (soit 1,04 kg) de CO₂ par kWh (électricité).

5. Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) (sixième rapport d'évaluation daté de 2023), sur une base de vingt ans, une tonne de méthane rejeté dans l'atmosphère a un impact environnemental négatif 82 fois plus important qu'une tonne de CO₂.

6. On peut supposer que le taux d'utilisation d'une centrale électrique bien gérée est de 90 %.

7. D'où la formule : $50\,000 \times 82 / 1,04 / (24 \times 365 \times 0,90) = 500 \text{ MWe}$.

8. Par conséquent, s'agissant du réchauffement planétaire, l'atténuation des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation provenant d'un puits d'aéragé d'une grande mine de charbon a un effet (sur une base de vingt ans) similaire à celui de la fermeture d'une centrale électrique au charbon d'une capacité d'environ 500 MWe.

4. Comparaison entre les émissions du puits d'aéragé d'une grande mine de charbon et les émissions des voitures

9. Les voitures à moteur à combustion émettent du CO₂.

10. Sur la base d'une émission moyenne de 150 g de CO₂ par km et d'un kilométrage annuel moyen de 14 000 km, une voiture particulière à moteur à combustion émet environ 2,1 tonnes de CO₂ par an.

11. Selon le GIEC (sixième rapport d'évaluation daté de 2023), sur une base de vingt ans, une tonne de méthane rejeté dans l'atmosphère a un impact environnemental négatif 82 fois plus important qu'une tonne de CO₂.

12. Un million de m³/h d'air de ventilation contenant 1 % de méthane émettraient, sur une base de vingt ans, 4,1 millions de tonnes d'équivalent CO₂ par an (sur une base de cent ans, les émissions correspondantes seraient de 1,5 million de tonnes).

13. Si l'on compare les émissions de méthane présent dans l'air de ventilation d'une grande mine de charbon (soit 4,1 millions de tonnes d'équivalent CO₂) aux émissions annuelles d'une voiture à moteur à combustion (soit 2,1 tonnes de CO₂), on constate que la suppression de ces émissions de méthane équivaldrait, pour ce qui est des effets sur l'environnement, à retirer de la circulation environ 2 millions de voitures (sur une base de vingt ans – sur une base de cent ans, le nombre correspondant de voitures serait d'environ 720 000).

Annexe II

Études de cas pouvant servir d'exemples à reproduire

1. Les premiers essais réussis de la technologie d'oxydation thermique régénératrice pour le traitement du méthane présent dans l'air de ventilation ont eu lieu dans les années 1990.

2. Les trois premiers projets commerciaux de ce type de traitement ont été menés pendant la première décennie du XXI^e siècle :

a) 2007 : En Australie, la société MEGTEC (Suède) a mis en service une centrale électrique dotée de quatre unités d'oxydation thermique régénératrice fonctionnant comme des fours-chaudière alimentés par du méthane présent dans l'air de ventilation (avec une concentration d'environ 1 %). La vapeur produite alimente une turbine conventionnelle de 6 MWe. L'installation a traité environ 20 % (250 000 m³/h) du volume total d'air de ventilation d'une grande mine de charbon et a fonctionné pendant dix ans. Le projet a été arrêté parce que l'exploitation souterraine (exploitation par longues tailles) a été déplacée (conformément à ce qui était prévu), ce qui a entraîné une baisse importante de la concentration de méthane présent dans l'air de ventilation ;

b) 2008 : En Chine, la société MEGTEC a mis en service une installation d'oxydation thermique régénératrice composée d'une seule unité, pour traiter un flux partiel d'environ 60 000 m³/h d'air de ventilation et produire de l'eau chaude pour le chauffage résidentiel local. Ce projet a été financé dans le cadre du programme du mécanisme pour un développement propre (MDP). L'installation de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation a fonctionné pendant quelques années, puis a été arrêtée, car la concentration de méthane dans le puits d'aérage était plus faible que prévu ;

c) 2009 : Aux États-Unis, la société Biothermica (Canada) a mis en service une installation d'oxydation thermique régénératrice composée d'une seule unité, pour traiter environ 50 000 m³/h d'air de ventilation. L'installation a fonctionné pendant quatre ans et a été arrêtée quand la mine a décidé de fermer le puits d'aérage en raison de la diminution de la concentration de méthane présent dans l'air de ventilation.

3. Parmi les autres exemples d'installations de traitement de méthane présent dans l'air de ventilation qui ont bien fonctionné, on peut citer :

a) 2012 : Aux États-Unis, la société Dürr (États-Unis, Allemagne) a mis en service trois ensembles de systèmes d'oxydation thermique régénératrice, qui ont traité au total 250 000 m³/h d'air de ventilation. Après plus de dix ans d'exploitation, l'installation de traitement a été fermée en 2023 en raison de la faible teneur en méthane. Elle sera relocalisée prochainement. Ce projet a mis en évidence l'un des avantages des installations d'oxydation thermique régénératrice, à savoir la possibilité de déplacer l'équipement près d'un nouveau puits lorsque les concentrations de méthane tombent en dessous des limites de faisabilité technique ou économique ;

b) 2014 : En Chine, la société Dürr (États-Unis, Allemagne, Chine) a mis en service une installation de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation comportant 10 unités d'oxydation thermique régénératrice, qui traite 1 020 000 m³/h d'air de ventilation. La concentration de méthane à l'entrée de l'installation de traitement est maintenue à environ 1,1 % grâce à l'ajout de gaz capté. Des conduites de gaz chauds sont reliées à une chaudière qui alimente une turbine à vapeur de 30 MWe. Après neuf ans, l'installation est toujours en activité ;

c) 2016 : En Chine, la société Anguil (États-Unis) a mis en service une installation d'oxydation thermique régénératrice comportant six unités, qui traite 540 000 m³/h et produit de l'électricité avec une puissance installée de 15 MWe. Sept ans plus tard, l'installation est toujours en activité ;

d) 2022 : Aux États-Unis, la société Biothermica a mis en service une installation d'oxydation thermique régénératrice de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation qui traite 245 000 m³/h.

4. Les installations de traitement du méthane présent dans l'air de ventilation construites par des fournisseurs ayant une expérience dans d'autres secteurs de l'industrie ont fait leurs preuves depuis des décennies. De nombreux projets menés dans différents pays ont démontré la viabilité d'une stratégie efficace et à grande échelle d'atténuation des émissions de méthane présent dans l'air de ventilation. Le cas échéant, l'énergie récupérée lors du traitement peut encore accroître les retombées positives de ces projets.
