



**Conseil économique
et social**

Distr.
GÉNÉRALE

ENERGY/GE.1/2003/4
5 septembre 2003

FRANÇAIS
Original: ANGLAIS

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

COMITÉ DE L'ÉNERGIE DURABLE

Groupe spécial d'experts du charbon dans le contexte
du développement durable

Sixième session, 17-18 (matin) novembre 2003

L'INDUSTRIE MONDIALE DU MÉTHANE DES MINES DE CHARBON

(Établi par l'Environmental Protection Agency des États-Unis et Climate Mitigation Works*)

I. INTRODUCTION

1. Pendant longtemps, le méthane contenu dans les filons de charbon et les strates environnantes, aussi appelé «méthane des gisements de charbon», a été considéré avec méfiance. En effet, les exploitants de mines estimaient qu'il mettait en danger le personnel, le matériel et les activités, et réduisait la productivité. Dans l'optique de l'exploration et de la production de gaz naturel, le méthane des gisements de charbon représentait une ressource «non traditionnelle», qu'il était difficile et coûteux de produire. Dans certains pays, les quantités de gaz sont élevées, mais la faible perméabilité de nombreux filons de charbon et leurs caractéristiques particulières en tant que réservoirs de gaz posent des problèmes qu'il n'a pas été possible de surmonter de façon économique.

* Ce document a été établi par Clark Talkington, chef d'équipe, Coalbed Methane Outreach Program, Environmental Protection Agency des États-Unis, Washington, D.C. (tel.: +1 (202) 564 8969; télécopie: +1 (202) 565 2134; courrier électronique: talkington.clark@epa.gov; site Web: www.epa.gov/coalbed), et par Karl H. Schultz, Directeur Général de Climate Mitigation Works, Londres (téléphone et télécopie: +44 (0) 207 354 3595; courrier électronique: climateschultz@yahoo.co.uk).

2. Malgré ces difficultés, les premières tentatives faites pour recueillir le méthane des gisements et des mines de charbon ont eu lieu dès la fin de la première décennie du XVIII^e siècle, lorsqu'un scientifique britannique a enfoncé un tuyau métallique dans un filon de charbon et a produit du méthane pour l'utiliser dans son laboratoire. Pour certains, la création de ce «puits» a marqué la naissance de l'industrie moderne. Tout au début du XX^e siècle, plusieurs pays européens ont commencé à capter le méthane des mines de charbon et ce sont les exploitants de ces dernières qui sont à l'origine de l'industrie moderne d'extraction du méthane des gisements et des mines de charbon. Dans les années 50 et 60, la récupération du méthane des mines de charbon a commencé dans d'autres pays. Aujourd'hui, de nombreux pays s'intéressent à cette importante ressource en vue d'un grand nombre d'utilisations, telles que l'injection dans les réseaux de distribution de gaz, l'éclairage, l'alimentation des chaudières en combustible et la production d'électricité.

3. Les progrès techniques, des politiques favorables des pouvoirs publics, les préoccupations concernant les changements climatiques, l'augmentation du prix des combustibles et une amélioration du transfert des technologies et de la coopération en matière de technologie ont permis d'accroître la récupération de cette précieuse ressource. Aujourd'hui, loin d'être encore considéré comme un problème ou une ressource trop coûteuse à exploiter, le méthane des gisements et des mines de charbon, désormais économiquement viable, est devenu une source de recettes supplémentaires ou d'économies. Au-delà de sa rentabilité immédiate, l'extraction de méthane de mines de charbon offre d'autres avantages importants, en particulier la réduction des émissions de gaz à effet de serre, l'amélioration de la sécurité dans les mines et l'augmentation de la productivité de celles-ci. Dans de nombreux pays en développement et en transition, sa récupération et son utilisation favorisent en outre le développement économique et social.

II. LE MÉTHANE DES GISEMENTS ET DES MINES DE CHARBON

4. Le méthane des gisements de charbon se forme pendant la houillification, qui est le processus de transformation de végétaux en charbon. Des matières organiques s'accumulent dans des marais, à mesure qu'une végétation luxuriante meurt et se décompose. Au fil du temps, des sédiments se déposent sur les matières organiques décomposées. À mesure que la couche de sédiment s'épaissit, la température augmente. Cela engendre des changements physiques et chimiques des matières organiques, qui entraînent la formation de charbon et la production de méthane, de dioxyde de carbone, d'azote et d'eau. À mesure que la chaleur et la pression augmentent, la teneur en carbone du charbon s'accroît. En général, plus le filon de charbon est enfoui profondément et plus sa teneur en carbone est élevée, plus il contient du méthane. Les gisements de charbon ne dégagent habituellement pas ce méthane dans l'atmosphère, sauf en cas de forage d'un puits, d'exposition à l'érosion ou de perturbations due à une exploitation minière.

5. Le méthane des mines de charbon est du méthane de gisement de charbon qui s'échappe en raison des activités minières. En conséquence, le premier est une forme du second. Aux États-Unis, la production de méthane de gisement de charbon représente environ 8 % (44 milliards de m³) de la production annuelle de gaz du pays. Le méthane des mines de charbon constitue 3 % de l'ensemble de la production de méthane de gisement de charbon, soit environ 1,1 milliard de m³ (U.S. Environmental Protection Agency, 2003). La distinction entre le méthane des gisements de charbon et le méthane des mines de charbon est cruciale. En effet, quand ce dernier est émis dans l'atmosphère, il est un gaz à effet de serre.

6. La présence de méthane dans l'atmosphère terrestre influe sur la température de la planète et le système climatique. L'activité chimique du méthane a des effets indirects sur le réchauffement de la planète, étant donné que ce gaz participe, dans l'atmosphère, à des réactions chimiques qui non seulement déterminent la période pendant laquelle le méthane reste dans l'atmosphère, mais en outre joue un rôle dans les concentrations atmosphériques d'ozone troposphérique et de vapeur d'eau stratosphérique, qui sont tous deux également des gaz à effet de serre. En raison de ces effets directs et indirects, le méthane contribue dans une large mesure aux changements climatiques mondiaux: il représente 18 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre et occupe à cet égard la deuxième place, derrière le dioxyde de carbone (CO₂). Sur une période de 100 ans, le méthane a des effets 21 fois plus importants que le CO₂.

7. Les mines de charbon sont l'une des principales sources anthropiques d'émissions de méthane, avec les décharges, les réseaux de gaz naturel et le secteur agricole. Le méthane des mines de charbon engendre 8 à 10 % des émissions de méthane des États-Unis et du monde. En 2000, l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis a estimé que les émissions américaines de méthane de mine de charbon provenant de toutes les sources (c'est-à-dire des mines souterraines et à ciel ouvert, et des mines dont l'exploitation est terminée) se sont élevées à 4,3 milliards de m³. Cela représente l'équivalent de 61 millions de tonnes de CO₂.

III. AVANTAGES DE LA RÉCUPÉRATION DU MÉTHANE DES MINES DE CHARBON

8. La récupération et l'utilisation du méthane des gisements et des mines de charbon présentent de nombreux avantages, et notamment:

- Des avantages relatifs à l'environnement mondial, grâce à la réduction des émissions de gaz à effet de serre;
- L'amélioration de la qualité de l'air, grâce à l'utilisation d'une source d'énergie plus propre;
- L'amélioration de la sécurité dans les mines;
- Une augmentation de l'indépendance sur le plan énergétique;
- Un accroissement de la productivité de l'exploitation minière; et
- L'obtention de recettes ou la réalisation d'économies.

9. Comme les activités de récupération du méthane des mines de charbon réduisent les émissions de gaz à effet de serre, elles peuvent bénéficier de programmes d'échange de droits d'émission. Le document de la CEE-ONU intitulé «Possibilités pour les économies en transition de tirer parti des mécanismes de flexibilité prévus par le Protocole de Kyoto: considérations générales pour le méthane des gisements et des mines de charbon» (ENERGY/GE.1/2003/5) examine la façon dont les «mécanismes de flexibilité» du Protocole de Kyoto peuvent encourager la réalisation de plus d'activités de récupération du méthane des mines de charbon en Europe orientale.

IV. TECHNIQUES DE RÉCUPÉRATION DU MÉTHANE DES MINES DE CHARBON

10. Les techniques de récupération varient en fonction du but de la récupération et de la nature des strates géologiques ou des espaces vides qui contiennent le gaz. Elles peuvent être réparties en deux catégories:

i) Le forage de puits verticaux ou horizontaux visant à récupérer le méthane des filons de charbon vierges (c'est-à-dire ceux qui n'ont pas été altérés par l'exploitation minière ou une autre activité) soit indépendamment de toute activité minière, soit avant une exploitation;

ii) Le forage de puits verticaux et horizontaux en vue d'une récupération de méthane postérieure à des activités d'exploitation minière.

a) Récupération du méthane avant le début de l'exploitation d'une mine

11. Comme les filons de charbon et les strates environnantes sont denses et ont une perméabilité limitée, les configurations typiques des puits de gaz ne permettent pas une récupération économiquement rentable. Cependant, on a mis au point diverses techniques de forage qui permettent de produire du méthane de gisement de charbon à partir de filons de charbon vierges. Il est possible de forer des puits verticalement à partir de la surface ou horizontalement à l'intérieur de la mine; généralement, les puits verticaux permettent une récupération plus efficace que les puits horizontaux.

- Puits de fracturation verticale: La technique de forage la plus utilisée est la fracturation verticale. Des puits sont forés verticalement à partir de la surface et, ensuite, une substance telle que de l'eau est injectée à une pression élevée dans les filons de charbon, afin de les fracturer. Ensuite, l'eau est extraite par pompage et le gaz s'élève dans le puits. Cette technique est efficace pour les puits profonds et gazeux ayant une perméabilité limitée.
- Forage dirigé à partir de la surface: À titre expérimental et, parfois, dans le cadre d'une exploitation normale, on a recours au forage oblique et à d'autres méthodes de forage dirigé pour récupérer le méthane de gisements de charbon. On fore des puits verticaux à partir de la surface et on les dévie ensuite afin de pénétrer horizontalement dans le filon de charbon pour en extraire le méthane.
- Trous de sonde horizontaux forés à partir de l'intérieur de la mine: Cette technique consiste à forer des trous de sonde horizontaux plus ou moins longs pour pénétrer dans le filon avant l'exploitation minière. L'utilisation de moteurs orientables depuis quelques années a amélioré l'efficacité de cette technique. Parmi les techniques utilisées avant le début de l'exploitation minière, les trous de sonde forés horizontalement à partir de l'intérieur de la mine ont les effets les plus immédiats et les plus directs sur la réduction des émissions de méthane provenant des mines de charbon. Cependant, à long terme, l'efficacité globale de la récupération est moins élevée que dans le cas d'un forage de puits vertical.

12. Le gaz produit à partir de filons de charbon non exploités est généralement de qualité très élevée. Sa teneur en méthane est proche de 100 % et il convient à n'importe quelle application.

b) Récupération du méthane après l'exploitation minière

13. Lors de l'extraction de charbon, le méthane contenu dans la zone fracturée s'en échappe. Ce gaz peut exploser lorsque sa concentration dans l'air atteint de 5 à 15 %. En conséquence, pour des raisons de sécurité, il faut l'évacuer des mines. À cette fin, les exploitants utilisent de très grands ventilateurs, qui évacuent de grandes quantités d'air vicié par les puits de mine, pour éviter tout risque d'explosion et, en général, en veillant à ce que la concentration de méthane reste inférieure à 1 %. Dans les mines très grisouteuses, le système de ventilation est complété par un système de dégazage, qui utilise diverses techniques pour éliminer le méthane après l'exploitation minière.

- Puits verticaux vers la zone de remblais. On a recours à des puits verticaux pour éliminer le gaz des filons de charbon avant le début de l'exploitation. On commence par forer des puits au-dessus du filon à exploiter. Ensuite, lorsque la zone située sous le puits a été exploitée, les parois et la voûte s'effondrent, et le gaz remplit la zone fracturée. Ces puits verticaux servent à évacuer le gaz qui subsiste dans la zone de remblais.
- Puits horizontaux vers la zone de remblais forés à partir de l'intérieur de la mine. Ces puits ont le même objet que les puits verticaux vers la zone de remblais.
- Trous de mine transversaux. Des trous sont forés obliquement et de façon transversale au-dessus et (ou) au-dessous du filon exploité. En Europe, les trous de mine transversaux constituent une méthode couramment utilisée pour éliminer le gaz des gisements épuisés.
- Méthode surjacente. Cette technique, également utilisée en Europe, consiste à injecter du gaz de la mine vers une galerie épuisée et non utilisée située dans un filon qui se trouve au-dessus ou au-dessous du filon exploité.

14. Le gaz récupéré après la fin de l'exploitation minière a généralement une teneur élevée en méthane au début mais, à mesure que l'air se mélange avec le gaz, la teneur en méthane se réduit à 30-80 %. Un tel gaz peut être utilisé pour la production d'électricité, le chauffage, le séchage du charbon, l'alimentation de chaudières et des processus industriels.

c) Mines désaffectées

15. Des mines de charbon souterraines désaffectées produisent également du méthane et peuvent dégager suffisamment de gaz pour que sa récupération soit rentable. Les techniques utilisées pour récupérer le gaz émis par ces mines sont similaires, sous réserve de quelques modifications, à celles utilisées pour la récupération de méthane avant et après une exploitation minière. Souvent, on rend les mines désaffectées étanches, avant d'installer un tuyau d'évacuation qui permet au méthane de s'échapper naturellement. On peut installer une pompe à vide sur le tuyau d'évacuation pour extraire le méthane plus rapidement.

V. LES MARCHÉS DU MÉTHANE DES MINES DE CHARBON

16. Le méthane des mines de charbon est utilisé traditionnellement à des fins diverses, telles que la production d'électricité et l'injection dans les réseaux de gaz. Pour développer l'utilisation du méthane des mines de charbon, l'EPA s'emploie à développer de nouveaux marchés pour ce gaz. Une grande partie des activités menées ces deux dernières années par le programme de l'EPA pour la récupération du méthane des gisements de charbon consiste à encourager des exploitants de mines à capter et à utiliser le méthane présent dans l'air de ventilation.

a) Marchés traditionnels

17. Jusqu'à présent, presque tout le méthane des mines de charbon récupéré aux États-Unis et dans le monde se retrouve sur les marchés traditionnels. Ceux-ci concernent diverses utilisations comparables à celles du gaz naturel. L'utilisation la plus appropriée du gaz dépend de nombreux paramètres, en particulier le pays, la situation géographique dans le pays, la proximité de conduites de gaz naturel, la proximité d'utilisateurs industriels potentiels et de centrales électriques, la qualité du gaz et, dans certains cas, le soutien des pouvoirs publics.

18. Aux États-Unis, l'utilisation la plus courante du gaz des mines de charbon est l'injection dans les réseaux de gaz. L'électricité est bon marché aux États-Unis, ce qui limite les possibilités dans ce domaine. Pour l'injection dans les réseaux de gaz, il faut un gaz de très bonne qualité (généralement une concentration de 95 % de méthane), de sorte que, en général, seul le gaz résultant du forage de puits dans des filons vierges avant une exploitation minière est utilisé à cette fin. Cependant, il est possible de traiter un gaz de qualité inférieure pour qu'il réponde aux critères requis pour l'injection dans les réseaux de gaz. En Alabama, Jim Walter Resources utilise une installation d'élimination de l'azote et de traitement cryogénique de BCCK Engineering pour convertir, chaque année, 72 millions de m³ de gaz de qualité inférieure en 41 millions de m³ de gaz de qualité suffisante pour l'injection dans les réseaux de gaz. L'Australie et le Royaume-Uni captent également du méthane des mines de charbon destiné aux réseaux de gaz.

19. En Europe et au Japon, la production d'électricité représente l'utilisation la plus courante. Une grande partie du gaz qu'ils produisent actuellement provient de mines désaffectées ou de la récupération postérieure à l'exploitation des mines. Ce gaz est mélangé à de l'air, ce qui, en général, ne permet pas de l'utiliser pour l'injection dans les réseaux de gaz sans un traitement très coûteux. Des études de l'EPA ont montré que, même quand la concentration de méthane ne dépasse pas 30 %, il est possible de produire de l'électricité. L'Australie, la Chine et les États-Unis ont également l'intention de récupérer des gaz des mines pour la production d'électricité.

20. Outre la production d'électricité et l'injection dans les réseaux de gaz, le méthane des mines de charbon est également utilisé à des fins industrielles, comme combustible pour l'alimentation des chaudières sur place ou à proximité, pour le séchage du charbon et en tant que carburant. Il s'agit d'autant de possibilités d'utiliser le gaz des espaces de remblais et le gaz des mines désaffectées, car cela n'exige pas une concentration de méthane élevée. Le méthane des mines de charbon est utilisé pour un grand nombre de ces applications dans les pays à économie en transition.

b) Nouveaux marchés

21. Aux États-Unis, l'EPA cible de nouveaux marchés pour encourager la récupération du gaz des mines de charbon et fait la promotion des technologies requises dans d'autres pays.

i) Brûlage à la torche

22. Il est également possible de brûler les gaz évacués. Dans certains cas, en effet, il n'est pas encore rentable de récupérer et d'utiliser les gaz des espaces de remblais. Soit la mine est éloignée d'un réseau de gaz, soit la production d'électricité ou les autres utilisations ne sont pas économiquement rentables. Il est alors possible de brûler le gaz.

23. Il ne s'agit pas nécessairement de la meilleure façon d'utiliser les gaz, mais le brûlage à la torche a l'avantage de réduire les émissions de gaz à effet de serre et d'être une option peu coûteuse. Actuellement, du méthane est brûlé à la torche dans des mines en exploitation en Australie et au Kazakhstan, ainsi que dans une mine désaffectée aux États-Unis. Les réticences que les autorités de surveillance et les exploitants de mines manifestent, pour des raisons de sécurité, à l'égard du brûlage à la torche au-dessus d'une mine exploitée, entravent encore sérieusement le recours à cette solution.

ii) Techniques de récupération du méthane d'air de ventilation (MAV)

24. Chaque année, les mines de charbon souterraines du monde entier émettent plus de 16 milliards de m³ de méthane par leur système de ventilation. Du point de vue du réchauffement de la planète, cela équivaut à plus de 230 millions de tonnes de CO₂. Grâce à des progrès techniques récents, il serait possible de réduire de façon économique une partie importante de ces émissions.

25. Lors de l'exploitation des mines de charbon, du méthane est émis par le charbon et les roches adjacentes. Comme ce méthane peut exploser dans l'air à des concentrations allant de 5 à 15 %, il est indispensable de l'éliminer. Dans les mines gazouteuses, des systèmes de ventilation de grande capacité aspirent de l'air pur et le font circuler dans la mine, afin de diluer et d'éliminer le méthane. Bien que la concentration du méthane contenu dans cet air de ventilation soit très faible (généralement moins de 1 %), le volume d'air que ces systèmes font circuler dans la mine est tellement élevé qu'il s'agit de la plus importante source de méthane libéré dans l'atmosphère en provenance des mines de charbon souterraines. Dans une mine gazouteuse des États-Unis, un puits typique a un débit d'air de ventilation de 100 à 250 m³ par seconde.

26. De nouvelles techniques d'oxydation du MAV sont prêtes à être commercialisées. Elles peuvent oxyder ce méthane avec ou sans utilisation productive de l'énergie thermique qui en résulte.

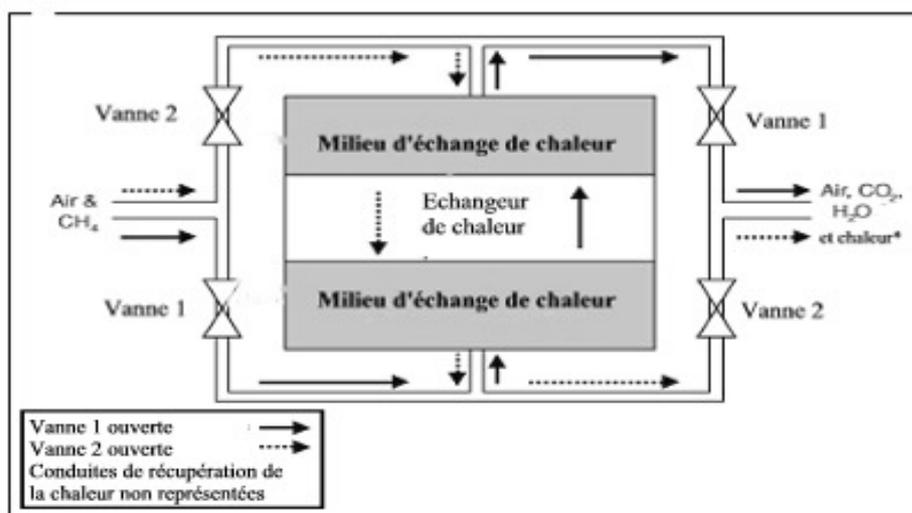
a) Réacteurs d'inversion de flux

27. Le réacteur d'inversion de flux thermique est un appareil simple (voir fig. 1) qui consiste en un grand lit de gravier silicieux ou en un milieu échangeur thermique en céramique comprenant un ensemble d'éléments de chauffage électriques au centre. Du matériel d'écoulement d'air tel que des plenums, des gaines et des vannes alimentent le lit en MAV. Ce procédé utilise le principe de l'échange de chaleur régénérative entre un gaz (air de

ventilation) et un solide (lit de milieu échangeur thermique qui emmagasine et transfère efficacement la chaleur) dans la zone de réaction.

28. Pour lancer le processus, des éléments chauffants électriques préchauffent le centre du lit jusqu'à la température d'inflammation spontanée du méthane (1 000 °C). Au cours de la première moitié du premier cycle, l'air de ventilation à la température ambiante entre par un côté et s'écoule dans le réacteur. L'oxydation du méthane a lieu près du centre du lit, lorsque le mélange dépasse la température d'inflammation spontanée du méthane. Les produits chauds de combustion et l'air inaltéré continuent leur écoulement dans le lit, perdant alors de la chaleur dans la partie distale du lit. Lorsque la partie distale du lit est suffisamment chaude et que la partie proximale a été refroidie par le passage de l'air de ventilation à la température ambiante, le réacteur inverse automatiquement la direction de l'écoulement. De l'air de ventilation nouveau entre par le côté distal du lit et s'échauffe au contact de celui-ci. Près du centre du réacteur, le méthane atteint la température d'inflammation spontanée, s'oxyde et produit de la chaleur qui est transférée à la partie proximale du lit avant d'être évacuée. Au cœur du système, la température atteint 1 000 °C, ce à quoi il faut ajouter l'augmentation de la température adiabatique, et baisse lorsque l'échangeur de chaleur élimine la chaleur du réacteur.

Figure 1. Schéma de réacteur à inversion de flux thermique



29. Des réacteurs à inversion de flux thermique ont été utilisés dans des milliers d'endroits du monde entier, principalement pour détruire des contaminants organiques. Deux installations fonctionnent exclusivement à l'aide d'air de ventilation (l'une d'entre elles selon le procédé d'échange de chaleur d'eau chaude) et environ 200 autres installations utilisent du gaz naturel dilué comme combustible d'appoint pour renforcer les concentrations des composés cibles (COV industriels). L'entreprise américaine MEGTEC procède à des démonstrations en vraie grandeur de sa technologie de réacteur à inversion de flux thermique utilisant du MAV, dans des mines de charbon souterraines d'Australie et des États-Unis.

30. Le Centre de recherche CANMET, de Natural Resources Canada, a adapté la technologie de l'inversion de flux pour mettre au point son réacteur à inversion de flux catalytique CH₄MIN spécialement conçu pour le MAV des mines de charbon. En incorporant un catalyseur dans le cœur du réacteur, CANMET a mis au point un système dont la conception et le fonctionnement sont fondamentalement identiques à ceux du VOCSIDIZER, qui oxyde l'air de ventilation de mines à des températures plus basses. CANMET a accordé une licence pour la commercialisation du système CH₄MIN.

b) Le MAV en tant que combustible auxiliaire

31. Le méthane d'air de ventilation peut également être utilisé comme air comburant pour la production d'électricité. Ce procédé est simple sur le plan technique et commercialement rentable, mais le potentiel de réduction des gaz à effet de serre est limité, car il est nécessaire de mettre en place des générateurs de grande capacité et coûteux à proximité des puits de ventilation. En Australie, la mine de charbon Appin a utilisé environ 10 % de son MAV comme air comburant pour alimenter une série de moteurs à combustion interne. Une autre utilisation de ce type de méthane comme combustible auxiliaire aura lieu prochainement pour l'alimentation d'une chaudière à charbon en Australie.

32. Une nouvelle méthode a été mise au point pour un four rotatif, dont le foyer est alimenté par des déchets de charbon et du MAV. Aux fins de la démonstration, la chaleur captée sera utilisée pour faire tourner une turbine à gaz de 1,2 MW. En fonction des quantités respectives de charbon et de MAV, ce système utilise le MAV seul ou à titre auxiliaire. Contrairement aux méthodes recourant à la turbine à combustible pauvre, il n'est pas nécessaire d'ajouter du gaz pour accroître la concentration de méthane.

c) Turbines à combustible pauvre

33. Plusieurs entreprises mettent au point ou ont conçu des techniques permettant d'utiliser le MAV dans des turbines à gaz comme source principale ou importante de combustible. Certaines de ces techniques utilisent des catalyseurs pour la combustion du MAV, tandis que dans d'autres, celle-ci a lieu dans une chambre de combustion externe sans catalyseur, mais à une température inférieure à celle utilisée dans le cas des turbines normales. Jusqu'à présent, les entreprises qui proposent cette technique affirment qu'elle permet d'utiliser du MAV (ou un mélange de MAV et de gaz à plus forte concentration) dont la concentration est comprise entre 1 % et 1,6 %, mais plusieurs d'entre elles étudient des moyens d'abaisser la concentration requise jusqu'à 0,8 % ou moins. Selon la teneur du MAV en méthane, la part de MAV dans l'ensemble du combustible utilisé par ces turbines peut dépasser 80 % si la concentration de méthane est élevée ou être inférieure à 20 % dans le cas de MAV à faible teneur en méthane.

34. Il est nécessaire d'évaluer de façon plus approfondie les techniques décrites plus haut pour savoir précisément laquelle doit être employée dans telle ou telle situation. Le tableau 1 montre que l'utilisation et la viabilité des différentes options dépendent de la concentration du méthane dans l'air de ventilation et d'autres paramètres propres aux sites. Il est manifeste cependant que s'il est possible d'obtenir des recettes suffisantes grâce à la réduction de la consommation d'énergie ou de l'émission de gaz à effet de serre due à l'oxydation du MAV, la mise en œuvre de ces techniques est économiquement rationnelle.

Tableau 1. Comparaison entre les différentes techniques de réduction des quantités de méthane d'air de ventilation

Technique	Application envisagée
MAV comme combustible auxiliaire	0 % – 1 % + CH ₄ , lorsque le MAV est proche d'une grande installation alimentée au gaz ou au charbon
Réacteur à inversion de flux	0,15 % – 1 % + CH ₄ , pour le brûlage à la torche ou la production d'électricité
Turbines à combustible pauvre	1 % + CH ₄ avec du gaz complémentaire là où le prix de l'électricité est favorable
Four rotatif au MAV et au charbon	0 – 1 % + CH ₄ , lorsque des déchets de charbon sont disponibles

VI. LE MARCHÉ MONDIAL DU MÉTHANE DES MINES DE CHARBON

a) Vue d'ensemble du marché mondial

35. Sur le plan mondial, le potentiel du méthane des mines de charbon est très important, mais plusieurs facteurs influent directement sur lui. Le prix du gaz et de l'électricité et la qualité et la fiabilité de l'infrastructure de livraison de gaz et d'électricité revêtent à cet égard une grande importance. Il n'est économiquement rationnel de récupérer le méthane des mines de charbon que si le coût de production est inférieur aux recettes ou aux économies engendrées par des opérations ayant un taux de rentabilité acceptable. Les marchés sont également influencés par les aides des pouvoirs publics, l'assistance bilatérale ou multilatérale et les subventions visant à inciter à produire du méthane des mines de charbon. Aux États-Unis, par exemple, le crédit d'impôt prévu par l'article 29 du Code des impôts a contribué à engendrer d'importantes augmentations de la production de méthane des gisements et des mines de charbon. Dans de nombreux pays en développement et pays à économie en transition, des aides financières, techniques et générales telles que celles du Fonds pour l'environnement mondial permettent d'entreprendre une telle production.

36. Le tableau 2 présente les émissions de méthane des mines de charbon en 2000 et les prévisions pour 2010 en ce qui concerne la plupart des pays qui ont d'importantes activités minières souterraines. Il indique également les émissions en millions de tonnes équivalent CO₂. À l'exception de l'Australie, les émissions des pays industrialisés devraient baisser ou rester stables, par comparaison avec les émissions des pays en développement, en particulier la Chine et l'Inde, qui devraient augmenter de façon appréciable. À cet égard, il est à noter que les émissions des mines désaffectées ne sont pas incluses. Dans des pays tels que les États-Unis, le Royaume-Uni, l'Allemagne et le Japon, les émissions des mines désaffectées sont de nature à augmenter les émissions totales de méthane des mines de charbon.

Tableau 2. Émissions de méthane des mines de charbon pour certains pays, 2000 et 2010

Pays	2000 Émissions de CH ₄ (millions de m ³)	2000 Équivalent CO ₂ (Millions de tonnes)	2010 Émissions de CH ₄ (Millions de m ³)	2010 Équivalent CO ₂ (Millions de tonnes)
Afrique du Sud	496	7,1	506	7,2
Allemagne	1 030	14,7	764	10,9
Australie	1 381	19,7	2 004	28,6
Canada	98	1,4	91	1,3
Chine	10 000	142,7	15 753	224,7
Etats-Unis	5 461	77,9	5 748	82,0
Fédération de Russie	2 236	31,9	2 138	30,5
Inde	683	9,7	1 319	18,8
Japon	133	1,9	147	2,1
Kazakhstan	488	7,0	447	6,4
Pologne	1 037	14,8	939	13,4
République tchèque	351	5,0	266	3,8
Royaume-Uni	365	5,2	343	4,9
Turquie	123	1,8	184	2,6
Ukraine	1 970	28,1	1 689	24,1

(Sources: U.S. Environmental Protection Agency, 2001. *Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions from Developed Countries: 1990-2010*. Septembre 2001. EPA-430-R-01-007 et rapports de pays.)

37. Selon une analyse du marché mondial du MAV réalisée par l'EPA, environ 172 millions de tonnes équivalent CO₂ pourraient être oxydées, sur les 237 millions de tonnes équivalent CO₂ que représentent les émissions de MAV (16,6 milliards de m³ de méthane), si l'on retient un coût net de 3,00 dollars des États-Unis par tonne équivalent CO₂ et des prix moyens pour l'électricité industrielle. Cette analyse indique également que la quantité d'émissions qu'il serait possible de réduire dans l'hypothèse de coûts inférieurs est beaucoup moins élevée: pour 2,00 dollars des États-Unis par tonne, il serait possible de réduire les émissions d'environ 60 millions de tonnes équivalent CO₂ (EPA, 2003).

38. Des observations générales peuvent être formulées concernant certaines régions. L'Amérique du Nord (États-Unis et Canada) a un marché du méthane des gisements et des mines de charbon avancé et parvenu à maturité; un grand nombre d'activités sont entreprises et de nombreux experts sont disponibles.

39. L'Europe occidentale (en particulier l'Allemagne et le Royaume-Uni), le Japon et l'Australie possèdent également des marchés du méthane des gisements et des mines de charbon

très évolués et sont très innovateurs. Dans l'avenir, une grande partie des activités qui seront menées en Europe occidentale et au Japon porteront sur l'extraction de méthane des mines de charbon fermées ou désaffectées. Dans ces pays, les pouvoirs publics soutiennent fermement, de façon directe ou indirecte, le lancement d'activités dans ce domaine.

40. En Asie, il existe un potentiel important de récupération du méthane des gisements de charbon. La Chine dispose de réserves très importantes et les autorités soutiennent fermement l'exploitation de ce type de méthane. Les ressources de ce pays en méthane des gisements de charbon ont attiré l'attention des grandes compagnies de pétrole et de gaz. De même, l'Inde favorise l'exploitation du méthane des gisements et des mines de charbon et suscite de l'intérêt. Le Kazakhstan encourage également l'exploitation du méthane des gisements de charbon. Bien que ces pays comportent des risques, leurs systèmes d'octroi de licence sont bien connus des investisseurs occidentaux. On s'intéresse donc davantage aux possibilités qu'ils offrent dans ce domaine.

41. L'Europe orientale, la Fédération de Russie et l'Ukraine exploitent depuis longtemps d'importantes mines grisouteuses. Bien que des institutions financières bilatérales et multilatérales telles que la Banque mondiale encouragent depuis quelques années ces pays à restructurer leur industrie charbonnière en fermant des mines non rentables, peu de progrès ont été accomplis. De ce fait, un grand nombre de mines grisouteuses continuent d'être exploitées. On produit très peu de méthane de gisements de charbon, mais tous ces pays ont une expérience du dégazage et de l'utilisation du méthane des mines de charbon. Cependant, ces régions ont besoin d'investissements pour pouvoir acquérir des technologies modernes de forage et de récupération, et doivent améliorer leurs infrastructures afin de maximiser leurs capacités en matière d'exploitation du méthane des gisements et des mines de charbon. Cela dit, les investissements sont limités, car les risques sont élevés.

42. La section suivante décrit brièvement les activités relatives au méthane des gisements et des mines de charbon dans un certain nombre de pays.

b) Profils de pays

i) Australie

43. L'Australie possède une industrie très avancée du méthane des mines de charbon et se distingue à cet égard par sa capacité d'innovation et sa créativité. Le Gouvernement et les entreprises de ce pays encouragent très activement la mise au point et l'expérimentation de techniques nouvelles. On décrit ci-après certaines des activités menées dans le pays:

- À la mine de charbon Appin en Nouvelle-Galles du Sud, BHP Billiton s'est associé avec Megtec Systems pour exploiter un projet de démonstration de l'inversion de flux thermique utilisant le système Vocsidizer® pour brûler du méthane d'air de ventilation.
- Aux mines de charbon Appin et Tower, on utilise le méthane des mines de charbon pour produire 94 MW d'électricité à partir de 651 000 m³ de gaz évacué par jour. À la mine d'Appin, les moteurs des installations consomment également de l'air de ventilation de mine comme air comburant. Energy Developments, qui exploite ces installations, fait également la démonstration d'une turbine à gaz pauvre dont les besoins en combustible peuvent être couverts dans une large mesure par du méthane d'air de ventilation.

- Capricorn Coal Development Joint Venture a commandé une installation de brûlage en torche du méthane présent dans les espaces de remblais, à la Central Colliery, au Queensland, en 1998.
- En octobre 2001, le Gouvernement australien a accordé des subventions d'un montant de 15 millions de dollars des États-Unis à trois projets d'exploitation du méthane des mines de charbon, qui devraient réduire les émissions de gaz à effet de serre de 7,2 millions de tonnes de 2008 à 2012.

ii) Chine

44. La Chine, pays qui émet le plus de méthane des mines de charbon du monde, recèle un potentiel considérable de récupération de ce gaz. En outre, celle-ci revêt une grande importance pour la Chine, car les mines de charbon chinoises figurent parmi les plus dangereuses du monde, en grande partie en raison des grandes quantités de méthane qu'elles contiennent. En conséquence, les autorités chinoises sont résolues à exploiter le méthane des mines de charbon.

45. La Chine utilise depuis longtemps ses ressources en méthane de mines de charbon. L'évacuation du méthane souterrain y a commencé dans les années 50. L'exploitation du méthane des mines de charbon à ciel ouvert a commencé dans les années 90. En 1999, 184 mines de charbon chinoises étaient équipées de systèmes d'évacuation (Huang et al., novembre 2001). En 1999 également, on a évacué 728 millions de m³ de méthane, dont 400 millions de m³ ont été utilisés. La majorité du méthane des mines de charbon est utilisée en vue de sa distribution aux ménages, de la production d'électricité et comme matière première pour la fabrication de produits chimiques (EPA, CBM Extra, février 2001). De nombreuses mines de charbon sont situées près de débouchés pour le méthane et l'achèvement d'un important pipeline de gaz naturel accroîtra de façon appréciable la capacité de transport du méthane des mines de charbon.

46. En raison de ses ressources importantes, de la teneur élevée en méthane et des marchés potentiels, la Chine suscite un intérêt considérable. Voici quelques activités entreprises récemment ou à l'état de projets:

- Au milieu des années 90, un projet du FEM exécuté dans les mines de Tiefu, de Songzao et de Kailuan a permis de faire la démonstration de techniques perfectionnées d'évacuation du méthane. Le montant total du projet était de 10 millions de dollars des États-Unis.
- La Banque asiatique de développement a alloué 150 à 200 millions de dollars à des projets chinois d'exploitation du méthane des gisements et des mines de charbon.
- L'administration des mines de charbon de Jincheng a établi des plans préliminaires pour la création d'une centrale électrique au méthane de mines de charbon de 120 MW, qui utilisera 240 millions de m³ de ce gaz par an.
- Le Programme pour des technologies charbonnières plus propres du Ministère britannique du commerce et de l'industrie a lancé une série de projets menés en collaboration pour l'exploitation du méthane des gisements et des mines de charbon en Chine.

- Le projet du JCOAL et de l'APEC concernant la mine de charbon de Tiefen, dans la province de Liaoning, a été récemment achevé. Il permet de récupérer du gaz, qui est livré à la ville proche de Tieling en vue de sa distribution en réseau.
- Depuis 1994, l'EPA et le Bureau chinois de centralisation et de diffusion de l'information sur le méthane des gisements de charbon collaborent pour promouvoir la récupération du méthane des mines de charbon. Actuellement, ces deux organismes aident les entreprises à promouvoir des projets d'exploitation du méthane des mines de charbon et à étudier les possibilités d'entreprendre des activités d'exploitation du méthane de l'air de ventilation.

iii) République tchèque

47. La République tchèque utilise depuis longtemps le méthane des mines de charbon. Depuis le début de la première décennie du XX^e siècle, plusieurs mines du bassin de haute Silésie (Ostrava-Karvina) produisent et utilisent ce méthane, récupéré dans des mines exploitées et désaffectées. Aujourd'hui, environ 100 millions de m³ par an (dont près de 90 % de gaz évacué) sont récupérés et utilisés dans ce bassin (Takla, 1995). DPB Paskov AS est, en République tchèque, le numéro un de l'exploitation du méthane des mines de charbon. Cette entreprise mène cette activité depuis 1992 et, en outre, possède et exploite un gazoduc d'une longueur de 200 kilomètres.

48. La baisse des importations de gaz naturel en provenance de la mer du Nord et l'augmentation potentielle des prix du gaz naturel russe pourraient accroître la demande d'énergie d'autres sources, dont le méthane des mines de charbon. Les autorités tchèques sont conscientes des avantages potentiels du méthane des gisements et des mines de charbon et soutiennent son exploitation par un financement direct et une politique de crédit-bail favorable.

iv) Allemagne

49. À l'instar d'autres pays d'Europe occidentale, l'Allemagne utilise depuis longtemps le méthane des mines de charbon. En 1952, on a construit dans ce pays une centrale électrique de 100 MW qui utilisait le méthane des mines de charbon. Comme dans d'autres pays d'Europe occidentale également, des fermetures de mines ont lieu en Allemagne. Cependant, les entreprises allemandes, de même que leurs homologues britanniques, ont conçu depuis 2001 plus de 30 projets d'installations de production d'électricité alimentées au méthane des mines de charbon et l'Allemagne est en pointe pour l'utilisation du méthane des mines de charbon pour la production combinée de chaleur et d'électricité.

50. Conscient que le méthane des mines de charbon est une importante source d'énergie propre, le Gouvernement allemand a fait adopter une loi permettant de donner la priorité aux sources d'énergie renouvelable. Aux termes de cette loi, le méthane des mines de charbon est considéré comme une ressource renouvelable et l'installation de petits générateurs d'électricité fonctionnant au méthane des mines de charbon donne droit au versement d'une subvention de 0,07 dollar des États-Unis par kWh.

v) Pologne

51. La Pologne est un des principaux producteurs de charbon du monde et possède des compétences techniques appréciables en matière de récupération de méthane des mines de charbon. Les opérations de dégazage réalisées dans les mines polonaises ont recours à deux méthodes: les trous de forage transversaux pour la production de gaz avant le début de l'exploitation minière et le forage de puits vers les zones de remblais dans les mines dont l'exploitation est terminée. Environ 70 % du gaz récupéré grâce au dégazage sont destinés aux marchés traditionnels, dont la production d'électricité, le chauffage, le séchage du charbon et les applications industrielles. En Pologne, l'industrie charbonnière a procédé à des restructurations en plusieurs étapes et un grand nombre de mines de charbon grisouteuses ont été fermées ces dernières années. Cependant, on continue à s'intéresser à la production d'électricité grâce au méthane des mines de charbon et des activités concrètes ont été menées dans ce domaine. D'autre part, une étude de faisabilité financée par la Trade and Development Agency des États-Unis est actuellement en cours, en vue de l'examen des possibilités d'utiliser le méthane de l'air de ventilation.

vi) Fédération de Russie

52. Bien que la production de charbon ait fortement baissé dans les années 90, la Fédération de Russie reste le troisième émetteur de méthane des mines de charbon, avec des émissions supérieures à 2,2 milliards de m³. L'essentiel du méthane des mines de charbon de Russie se situe dans deux bassins: Kuzbass, en Sibérie occidentale, et Pechora, en Russie européenne arctique. On n'a guère recours aux systèmes d'évacuation du méthane en Fédération de Russie, bien que de nombreuses mines soient grisouteuses. Le méthane des mines de charbon qui est récupéré est utilisé sur place pour le chauffage et l'alimentation de chaudières. Le Fonds pour l'environnement mondial a approuvé un projet qui prévoit la création d'une entreprise chargée de récupérer et d'utiliser le méthane des mines de charbon de Kuzbass. Le Gouvernement central et les administrations régionales soutiennent les activités de mise en valeur du méthane des mines de charbon.

53. Le Centre international du charbon et du méthane Uglemetan a été créé à Kemerovo, dans le Kuzbass, pour promouvoir la mise en valeur du méthane des gisements et des mines de charbon et offrir des services techniques aux entreprises minières et d'exploitation des ressources énergétiques qui souhaitent récupérer ces gaz dans le Kuzbass. Ce centre dispose du matériel et des spécialistes nécessaires pour l'évaluation des principaux paramètres concernant les réservoirs de méthane des mines de charbon, tels que la teneur en gaz, la perméabilité et les contraintes *in situ*, à l'aide de matériel acheté aux États-Unis.

vii) Ukraine

54. Il existe un potentiel important d'exploitation du méthane des mines de charbon en Ukraine, car un grand nombre de ces mines sont situées dans de grands centres de population d'Ukraine orientale, ou à proximité, et sont profondes et très gazeuses. Il existe de sérieux problèmes de sécurité des mines en Ukraine, qui occupe la deuxième place, après la Chine, pour le nombre de morts par million de tonnes extraites. Actuellement, le pays importe 76 % du gaz naturel qu'il utilise, et le méthane des gisements et des mines de charbon pourrait accroître la sécurité énergétique de l'Ukraine.

55. Les exploitants de mines de charbon ukrainiennes ont une expérience du dégazage et de la récupération du gaz. En 2000, 45 mines utilisaient des systèmes de dégazage et 12 récupéraient le méthane en vue de son utilisation sur place (PEER, 2001). En Ukraine, le méthane des mines de charbon est principalement utilisé comme combustible de chaudières dans les mines mêmes.

56. Les possibilités de récupérer le méthane des gisements et des mines de charbon en Ukraine ont été étudiées de façon très approfondie. Un grand nombre d'organismes ont réalisé des études de faisabilité. Actuellement, la situation n'est pas très propice aux investissements en Ukraine, bien que l'économie de ce pays soit en voie de redressement. La plupart des observateurs attendent l'exécution d'un projet pilote. En Ukraine, le Partenariat pour la réforme en matière d'énergie et d'environnement (PEER) mène une action de promotion en faveur de la mise en valeur du méthane des mines de charbon. Le PEER a élaboré un guide sur les possibilités de mise en valeur du méthane des mines de charbon en Ukraine et a également conçu des plans d'affaires pour deux des mines, celles de Komsomolets Donbassa et de Skochinsky.

viii) Royaume-Uni

57. Le Royaume-Uni utilise depuis longtemps le méthane des mines de charbon et est doté d'une industrie avancée et innovatrice. Comme dans d'autres pays d'Europe occidentale, l'industrie charbonnière a subi une importante restructuration et la plupart des mines ont été fermées ou le seront à terme. Après la restructuration, cependant, des entrepreneurs du Royaume-Uni ont découvert que les mines fermées représentaient d'excellentes ressources. Plusieurs opérations de récupération du méthane des mines de charbon ont été entreprises et un grand nombre d'autres sont à l'état de projets. Actuellement, huit opérations d'exploitation du méthane de mines désaffectées du Royaume-Uni produisent 35 MW d'électricité et livrent du gaz à deux entreprises locales de distribution (Davies, 2003). Par ailleurs, deux opérations entreprises dans des mines en exploitation utilisent du méthane de mines de charbon mélangé à du gaz naturel pour produire 22 MW. Il avait également été prévu de produire plus d'électricité au moyen de méthane de mines désaffectées d'ici 2004 (Ministère du commerce et de l'industrie du Royaume-Uni, 2001), mais de récentes baisses du prix de l'électricité ralentissent l'accomplissement de progrès à cet égard.

58. Le Programme pour des technologies charbonnières plus propres du Ministère britannique du commerce et de l'industrie encourage l'utilisation du méthane des gisements et des mines de charbon au Royaume-Uni, tandis que l'Association des exploitants du méthane des mines de charbon (ACMMO), qui regroupe des entreprises de ce secteur, fait la promotion de politiques visant à encourager des investissements dans l'exploitation du méthane des mines de charbon.

ix) États-Unis d'Amérique

59. Les États-Unis sont le deuxième émetteur de méthane des mines de charbon et utilisent plus de gaz récupéré que n'importe quel autre pays. Bien que plusieurs autres pays aient commencé à capter du méthane des mines de charbon longtemps avant les États-Unis, ce pays a entrepris des efforts importants dans les années 70 pour extraire du méthane des filons de charbon avant le début d'une exploitation minière et occupe depuis lors la première place dans ce secteur. Les pionniers de ce dernier, CONSOL Energy et Jim Walter Resources, demeurent les deux entreprises les plus importantes dans le domaine de la récupération du méthane des mines

de charbon aux États-Unis. D'autres grandes entreprises charbonnières, telles que US Steel Mining, Peabody et Drummond Coal, récupèrent également du méthane.

60. Au fil des années, les États-Unis n'ont cessé de perfectionner les techniques de forage. En outre, l'appui des pouvoirs publics, qui a notamment pris la forme du crédit d'impôt institué par l'article 29 du Code des impôts, a favorisé un accroissement de la production. Les incitations législatives à la mise en valeur du méthane des gisements et des mines de charbon se poursuivent, puisque deux projets de loi visant à la favoriser ont récemment été déposés au Congrès des États-Unis.

61. Le secteur est parvenu à maturité aux États-Unis. En 2000, ce pays a récupéré et utilisé 1,1 milliard de m³ de méthane des mines de charbon, sans compter les mines désaffectées. Comme cela a été indiqué plus haut, l'essentiel du gaz est utilisé pour l'injection dans des réseaux de distribution de gaz; cependant, environ 14 millions de m³ servent au séchage du charbon. Comme les conditions économiques de la production d'électricité s'améliorent, celle-ci devient également une option intéressante. CONSOL Energy et Allegheny Power exploitent actuellement une centrale électrique d'une puissance de 88 MW.

62. Environ 85 à 90 % du méthane extrait de mines de charbon aux États-Unis est livré aux marchés traditionnels. Dans l'avenir, les États-Unis s'orienteront vers de nouveaux marchés du méthane des mines de charbon. En particulier, l'EPA axe une grande partie de ses efforts sur le captage de gaz difficiles à commercialiser, le méthane de l'air de ventilation et les émissions des mines désaffectées.

VII. CONCLUSION

63. Le méthane des mines de charbon est devenu un élément essentiel de l'éventail des sources d'énergie pour un grand nombre de pays. En ce qui concerne les États-Unis, l'Europe occidentale, le Japon et l'Australie, ce méthane est devenu une importante source d'énergie marginale. Dans ces pays, les marchés sont mûrs, les compétences techniques sont solides et l'industrie est avancée et novatrice. Ailleurs, notamment en Asie et en Europe orientale, le méthane des mines de charbon présente des avantages socioéconomiques supplémentaires et, dans de nombreux pays, dont la Chine, l'Inde et l'Ukraine, les pouvoirs publics se sont résolument engagés dans la promotion de la mise en valeur du méthane des mines de charbon.

64. Les États-Unis s'efforcent d'utiliser le méthane de l'air de ventilation. Il est prévu que la production de méthane des mines de charbon augmentera de façon importante au Japon, en Australie et en Chine au cours des prochaines années. L'Europe occidentale et le Japon axeront leurs efforts sur la récupération du méthane des mines désaffectées et il est probable que ce gaz continuera d'être utilisé principalement pour la production d'électricité. En Chine, en Europe orientale et dans l'ex-Union soviétique, il existe des marchés traditionnels et de nouveaux marchés. La Chine suscite le plus d'intérêt, grâce à ses ressources importantes et à sa volonté de les mettre en valeur. Le Mexique, l'Indonésie et le Viet Nam sont également des pays dont il faut tenir compte.

65. Le marché mondial du méthane des mines de charbon est important et continuera vraisemblablement à croître, mais l'on ne connaît pas exactement la mesure dans laquelle les efforts internationaux pour limiter les émissions de gaz à effet de serre stimuleront les initiatives

d'exploitation du méthane des mines de charbon dans l'ensemble du monde. Le document suivant établi pour la CEE-ONU passera en revue un grand nombre des effets des politiques et des régimes d'atténuation des changements climatiques sur les marchés du méthane des mines de charbon grâce auxquels il serait possible d'obtenir, moyennant des coûts peu élevés, des crédits d'émission de carbone qui permettront de respecter le plafonnement des émissions des gaz à effet de serre.

Références

- Cairn Point Publishing Inc. *The International Coal Seam Gas Report*. 1997. Australie.
- Davies, Cameron. 2003. "CMM: an uneven playing field?" *The Chemical Engineer*, Institution of Chemical Engineers, 11 juillet 2003.
- Huang Shenchu, Zhu Chao, Liu Xin et Xu Huijun. 2001. "Potential for Commercial Development of Coal Mine Methane in China". *Proceedings of the 2001 International CMM/CBM Investment and Technology Symposium/Expo* Shanghai (Chine). Novembre 2001.
- Partnership for Energy & Environmental Reform. 2001. *Inventory of Methane Emissions from Coal Mines in Ukraine: 1990-2000*. Avril 2001.
- Schultz, Karl H., 2003, "An Analysis of Technical Options to Optimize Ventilation Air Methane Mitigation". *Proceedings of 2003 International Coalbed Methane Symposium*, Tuscaloosa, Alabama (États-Unis). Mai 2003.
- Takla, G., Bezek, J. et Vavrusak, Z., 1995, "Status of Development and Future Prospects of Coalbed Methane in the Czech Republic", *InerGas '95, International Unconventional Gas Symposium, Proceedings* – Tuscaloosa, AL. 14-20 mai 1995.
- UK Department of Trade & Industry. 2001. *A Review of the Worldwide Status of Coalbed Methane Extraction and Utilisation*. Juillet 2001. Report No. COAL R210 DTI/Pub URN 01/1040.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2001. *Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions from Developed Countries: 1990-2010*. Septembre 2001. EPA-430-R-01-007.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2003. *Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2001*. Avril 2003. EPA 430-R-03-004.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2002. *Coalbed Bed Methane Extra*. Février 2002.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2003. *Assessment of the Worldwide Market Potential for Oxidizing Coal Mine Ventilation Air Methane*. Juillet 2003. EPA 430-R03-002.
