

PROBLEMES GEO-ENVIRONNEMENTAUX LIES A LA COMBUSTION DES TERRILS DANS LES ZONES MINIERES DE LA REGION NORD-PAS-DE-CALAIS, FRANCE

NAZE NANCY MASALEHDANI et JEAN-LUC POTDEVIN

UMR CNRS 8110 Processus et Bilans des Domaines Sédimentaires, FDR 1818 Milieux Naturels et Anthropisés, Université des Sciences et Technologies de Lille, SN5, 59655

Villeneuve d'Ascq Cedex, France

MN.Masalehdani@ed.univ-Lille1.fr

Jean-Luc.Potdevin@univ-Lille1.fr

RÉSUMÉ – La région Nord-Pas-de-Calais (France) est bien connue pour ses terrils produits pendant l'exploitation minière du charbon. Ils ont été érigés dans les 200 dernières années et font maintenant partie du paysage de la région. Ils sont formés de stériles plus ou moins grossiers, composés d'un assemblage hétérogène et peu compact de schistes carbonifères et de grès. Ces déchets contiennent des quantités plus ou moins importantes de charbon.

En fonction de leurs propriétés physiques ou des conditions d'oxydation, certains de ces terrils sont entrés en combustion, spontanée ou provoquée artificiellement pour une exploitation industrielle. Le terril n°76, situé sur la commune d'Avion et n°83 à Fouquières-les-Lens sont des exemples de terrils en combustion. Dans les zones actives de ces terrils, la température de surface peut dépasser 250°C. Cette température peut atteindre 800-1000°C à l'intérieur du terril. Ces températures élevées ont induit un métamorphisme thermique des schistes et des grès modifiant leur aspect (coloration en rouge), réduisant leur volume et modifiant leur composition.

Les zones en combustion émettent des gaz à effet de serre en grande quantité. Ces gaz, composés de vapeurs sulfureuses riches en CO, CO₂, CH₄, SO_x et NO_x, s'échappent par des fissures, des fractures et des orifices de surface. Ces vapeurs peuvent s'enflammer au-dessus de 200°C et provoquer des explosions.

L'activité fumerollienne de la combustion est importante et se marque par la précipitation de nombreuses espèces de sulfates et de soufre natif en surface des zones d'échappement des gaz.

En conclusion de cette étude, nous mettons l'accent sur le caractère polluant des terrils en combustion. (1) Ils rejettent des gaz toxiques qui peuvent provoquer des problèmes de santé et des risques d'explosion pour les populations voisines. Ils pourraient polluer les sols et les nappes phréatiques. (2) Ces phénomènes de combustion entraînent une fragilisation de l'ensemble du terril en modifiant la composition et la cohésion des matériaux. Il pourrait en résulter des effondrements et des glissements de terrain.

Mots clés: Terril, Combustion, Environnement, Gaz à effet de serre, Fumerolle, Instabilité mécanique.

ABSTRACT- The Nord-Pas-de-Calais region in France is best known for its coal waste heaps. The development of these underground coal mining has spanned over 200 years. Since then they have formed blemishes on the landscape in this region. They are formed of fine to coarse discards, which consist of run-of-mine material and reflects poorly compacted heterogeneous black carbonaceous shales and grey sandstones, that were extracted during mining activities. These discards contain varying amounts of coal that have not been separated by the cleaning process.

Depending on their physical properties, natural oxidation and thermal degradation some of the heaps have undergone spontaneous combustion specially coal waste heaps N°76 in Avion and N°83 in Fouquières-les-Lens. In the combustion zones, surface temperature >250°C was recorded in the first heap. As a consequence parent carbonaceous shales and sandstones have been thermally metamorphosed resulting in the formation of red-coloured baked rock debris.

Sub-surface combustion and the baking processes have led to volumetric rock reduction within the heaps. Surface subsidence, cracks and large holes have developed at the surface of the dumps.

The smouldering areas are sources of intensive gas emanation. Hot sulphurous steam, CO, CO₂, CH₄, SO₂ and NO_x, continuously escape into the atmosphere from the surface tension fractures and large holes. Exhalation of both sulphuric vapour and hydrogen sulphide could cause ignition or explosion at temperatures greater than about 200°C.

This brief paper describes the general geotechnical behaviour of both coal wastes which experience subsurface spontaneous combustion, reports for the first time the results of the field gas identification and analysis and provides the inside near-surface temperature recordings for one year at coal waste N°76.

Keywords: Coal waste; Combustion; Environment; Hazards; Gas measurement; Temperature recordings

1. Introduction

Le besoin croissant en énergie et la découverte du charbon au 17^{ème} siècle s'est traduit par une intense exploitation minière dans le Nord de la France. Cette activité a engendré un stockage important de déchets sous forme de terrils sans prendre en compte les risques potentiels pour l'environnement. La préoccupation actuelle de notre société pour son environnement a suscité dans la communauté scientifique un nouvel intérêt pour l'étude des différents risques liées aux terrils miniers.

Les terrils miniers du Nord-Pas-de-Calais sont constitués de débris fins à grossiers qui proviennent de l'exploitation minière et qui forment une accumulation hétérogène de schistes argileux, de grès et de charbon. Les terrils varient en taille et en forme. Les plus anciens sont allongés et contiennent suffisamment de charbon pour envisager une réexploitation du terril (par exemple le terril n° 144 à Rieulay). Ceux érigés au 20^{ème} siècle ont plus une forme conique et contiennent moins de charbon. Certains de ces terrils sont entrés spontanément en combustion alors que pour d'autres la combustion a été provoquée par l'homme à des fins commerciales (exploitation de granulats).

Cette combustion modifie la résistance, la composition et la cohérence des matériaux du terril et s'accompagne d'une réduction de volume conséquente. Certains des effets notables de ces modifications sont des phénomènes de subsidence, l'apparition de fente de tension et d'ouvertures circulaires. Cela a pour conséquence de faciliter l'aération du terril et d'entretenir, voire d'accélérer sa combustion.

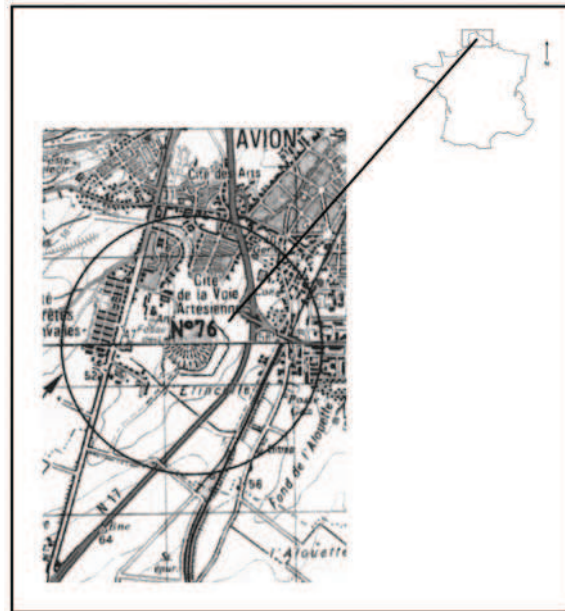
Les zones qui se consomment sont des sources d'intenses émanations de gaz. Des fumerolles chaudes et soufrées à CO, CO₂, CH₄, SO₂, et NO_x, s'échappent en continu des fractures ouvertes. De plus, certaines zones où ces gaz et de la vapeur d'eau s'échappent montrent la formation de croûte ou de dépôts minéralisés constitués de soufre natif et de différents sulfates qui se forme à la surface des déchets miniers.

Cet article décrit les résultats de l'analyse in situ de la composition et des températures des gaz émis durant la combustion de terrils miniers du Nord de la France. Le comportement géotechnique de deux de ces terrils sont également présentés.

2. Histoire et description générale des terrils miniers à charbon

2.1. Terril N°76 (Avion)

Ce terril est situé dans le département du Pas-de-Calais à 1,3 km d'Avion près de la route nationale N17 (fig. 1). Il a été exploité pour des granulats routiers depuis 1993. La méthode d'exploitation est réalisée en tranches horizontales de 5m d'épaisseur.



Echelle:1/60000

Figure1. Localisation du terril d'Avion N°76.

Il s'agissait au départ d'un terril conique d'une hauteur de 85 mètres au-dessus du sol (Fig. 2) et qui couvrait une surface de 96 000 m². Il devait contenir d'après les estimations environ 500000T de déchets miniers provenant du puits N°7 et 7bis de Liévin entre 1921 et 1987 (Surschist, 1993). Il est formé d'une accumulation hétérogène de débris rocheux fins à grossiers mal compactés et plus ou moins altérés par la combustion. Il montre ainsi des charbons, des grès de couleur grise qui peuvent être rougis par la combustion et une faible quantité de débris de roche calcaire blanche à jaune. La quantité de charbon qu'il contient est variable.



Figure 2. Terril minier N°76, 1987, Avion.

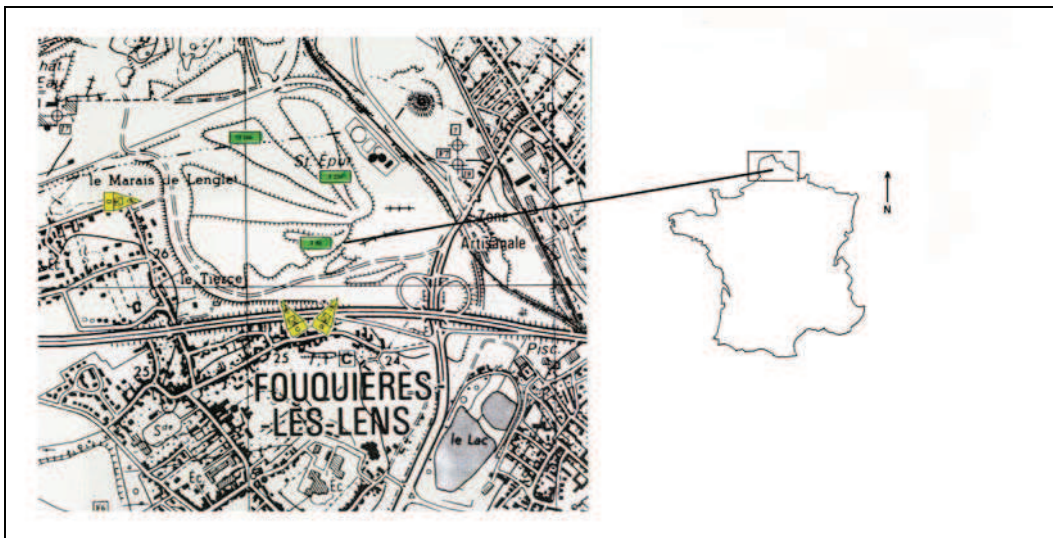
Ce terril est en combustion depuis 1987. De l'eau y est injectée pendant la saison chaude avec chaque jour près de 120m³ d'eau pompés de la nappe phréatique. C'est une pratique usuelle dans les zones en combustion (Surschist, 1993). Evidemment, aucune végétation ne pousse à la surface des zones de combustion alors qu'une végétation herbeuse peut recouvrir certaines parties du terril.

2.2. Terril N°83 Fouquières-les-Lens

Le terril n°83 « 7/19 Marais» est aussi situé dans le Pas-de-Calais le long de l'autoroute A21 au NE de Fouquières-les-Lens (Fig. 3). Il est de forme tabulaire et constitué de gradins dont les pentes sont d'environ 30° et dont l'épaisseur est d'une dizaine de mètres formant une surface d'environ 82 ha (Fig. 4). En 1972, il contenait 470000 m³ d'un mélange de débris charbonneux fins à grossiers. La surface sommitale du terril est relativement plate. Elle est recouverte d'une végétation composée d'herbe et de petits arbres dans les zones qui sont le moins en combustion. Le terril a été constitué entre 1882 et 1960 avec les déchets provenant de l'exploitation du puits N°7 de Courrières.

Le terril a été exploité pour ces schistes charbonneux pour les travaux routiers par la société Terrils S.A. de 1992 à 1999 et a été abandonné depuis par cette entreprise (Paquette, 2001). Sa combustion spontanée a été reconnue par une campagne sur le terrain en 2001. Des phénomènes d'explosion en subsurface ont été rapportés par les riverains.

Le site est d'ailleurs déclaré zone dangereuse et a été fermé au public par des grillages en 2002.



Echelle: 1/25000

Figure 3. Carte de localisation du terril N° 83.



Figure 4. Terril n°83 (Charbonnage de France).

3. Mesures sur le terrain

Dans les deux terrils étudiés, nous avons d'abord repéré les zones de combustion active d'après les zones de végétation morte pour ensuite effectuer une observation des structures de déformation du terril en surface. Des relevés de température de surface ont été effectués sur le terril d'Avion et des mesures in-situ de température et de composition des gaz émis ont été réalisés sur les deux sites.

3.1. Comportement du terril pendant la combustion.

La combustion dans les terrils démarre spontanément ou peut être provoquée par des feux de surface, des court-circuits dans des câbles souterrains, des éclairs ou la main de l'homme (Maneval, 1976). D'après le British National Coal Board (1970), des températures de 600°C sont fréquentes dans les zones qui se consomment dans un terril. L'avancée de la combustion varie beaucoup avec les caractéristiques physiques et chimiques du terril, sa compaction et son aération (Nichol et Tovey, 1998).

En général, pendant la combustion, la combustion du matériel et sa réduction en cendres provoquent une réduction de volume de l'ordre 40 à 60%. Ceci entraîne alors le développement de fissures en surface, de cavités en subsurface et d'affaissement du sol à la suite de la combustion (Nichol et Tovey, 1998).

Dans le terril n°76, la combustion a entraîné de nombreuses fissures de surface et la production d'une large quantité de débris de roches rouges métamorphosées thermiquement. La combustion a altéré les roches initiales, les déshydratant et les durcissant, modifiant la composition chimique des schistes noirs charbonneux initiaux.

L'activité fumerollienne se traduit par l'émission de chaleur, de vapeur d'eau et de gaz qui s'évacuent par des fractures de surface, des cavités et des événements ou peuvent se déposer différents types de sulfates et du soufre natif (Fig. 5a et 5b).

Des zones d'instabilités importantes se développent dans le terril N°83 autour des zones en combustion active avec notamment le développement à la surface d'une subsidence significative, d'affaissements circulaires et de fracture de tension. L'émanation de gaz sulfurés se détecte à l'odeur et la végétation dépérit autour des zones d'émission. L'importante activité fumerollienne se traduit également par l'émission de chaleur et de gaz avec en certains endroits le dépôt de soufre natif (Fig. 5c).

Le développement des fentes de tension et de grands trous dans les deux sites forment des structures qui jouent le rôle de cheminées dans le terril. Celles-ci permettent d'évacuer les produits de la combustion et la vapeur d'eau de l'intérieur du terril. D'un autre côté, elles favorisent l'apport d'air pour entretenir la combustion et l'infiltration de l'eau de pluie qui en humidifiant le terril va également favoriser la combustion. Ceci pourrait bien sûr avoir un impact environnemental fort sur le sol et le sous-sol (par exemple avec l'infiltration d'eau acide de type minier). Cette conjonction d'une aération et d'un drainage efficace du terril apparaît comme les conditions idéales pour développer ou entretenir la combustion spontanée.

3.2. Mesures des températures

S'il est accessible, l'exploitation industrielle du terril n°76 a néanmoins empêché le suivi des températures par des forages. Dans cette étude, nous avons donc utilisé un thermomètre Comark C9001 avec une sonde de 15 cm de long qui peut mesurer des températures jusqu'à 1000°C et un pistolet thermique infra-rouge « AGA thermopoint 80 ».

Sur le terril n°76, les températures internes de surface ont été mesurées de deux manières. 1) A la surface sommitale du terril à des intervalles de 5m, en utilisant la technique du rotary sur les quatre différents fronts, 2) Sur les côtés extérieurs du terril du sommet jusqu'à sa base en trois points repartis régulièrement le long de la pente.

Les mesures ont été effectuées à chaque début de saison depuis 2002 et sont poursuivies encore maintenant.



Fig.5. (a) Emission de gaz d'un trou ouvert par la combustion dans le terril n°76. (b) Fente d'ouverture en surface due à la combustion dans le terril n°76. (c) Développement d'une ouverture circulaire dans le terril n°83.

Les résultats d'une année de mesure des températures internes à la surface du terril sont présentés (Fig. 6). Elles varient de manière importante dans le temps et à la surface du terril. La température maximale au front A dans la zone Sud-Est du terril est d'environ 255°C. Le front B (zone Nord-Ouest) indique également une zone en combustion mais le pic de température n'est que d'une centaine de degrés. Les fronts C et D montrent peu voire aucune évidence de combustion. Dans l'année, la chute progressive des températures dans le terril est atteinte pendant les mois les plus froids de l'automne et de l'hiver.

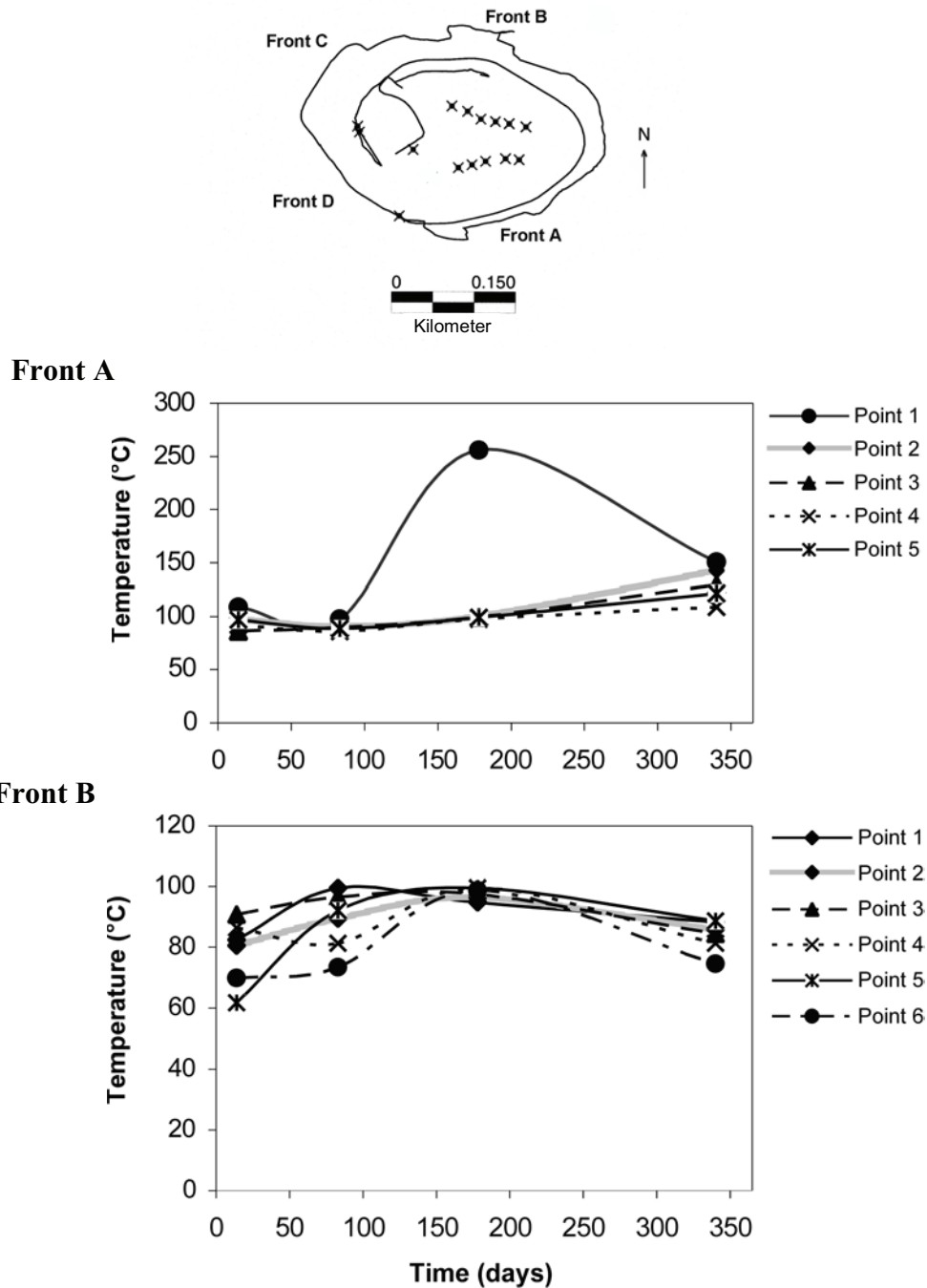


Figure 6. Mesure des températures internes de surface du terril n°76 pendant l'année 2002.

Les températures internes de surface peuvent montrer des variations saisonnières car si elles dépendent du processus de combustion, elles pourraient également varier avec l'insolation, la couverture nuageuse, la température de l'air et la pluie (Harries et Ritchie, 1980). Ainsi, d'après ces derniers auteurs, si les variations diurnes de température ne devaient pas avoir d'effets au-delà de 2 m de profondeur, les variations des conditions météorologiques devraient modifier la distribution des températures à la surface du terril. L'amplitude de ces variations devrait s'atténuer avec la profondeur (Lefebvre et al, 1993). Flann et Lukaszewski (1971) ont confirmé que les conditions climatiques peuvent jouer un rôle déterminant dans la progression de la combustion. Ils ont constaté que des fortes températures de l'air ambiant, un bon ensoleillement et plus généralement des conditions météorologiques chaudes et sèches favorisent la combustion spontanée de tas de déchets à charbon dans l'Est de l'Australie. À l'opposé, Nichol et Tovey (1998) ont remarqué que la reprise de la combustion dans un terril à Brymbo (Pays de Galles) semble associée à l'arrivée de l'hiver.

En dépit de différentes études, dont la nôtre, les effets des conditions météorologiques dans les variations de température et le processus de combustion semblent difficile à cerner. Nous continuons néanmoins à mesurer les températures de surface du terril n°76 et notamment pour caractériser l'éventuel arrêt de sa combustion.

3.3. L'analyse des gaz

Les analyses ont été réalisées en 2002 sur les deux terrils. Un dispositif spécifique était employé et les émissions de gaz émis par la surface étaient mesurées dans les zones particulièrement actives du terril. Le dispositif comprenait un couvercle en inox pourvu d'un orifice qui a été placé sur les zones d'émission (fracture, fissures, trous...) permettant ainsi le pompage des échantillons gazeux. Un condenseur tangentiel utilisant de la carboglace était mis avant les analyseurs afin d'éliminer l'humidité présente dans les gaz (la présence de vapeur d'eau dans les gaz perturbe la mesure). Les gaz ont été ensuite transférés vers les dispositifs d'analyse à un laboratoire mobile abrité dans une camionnette à l'aide d'une ligne de transfert chauffée. Les analyses étaient directement réalisées dans ce laboratoire mobile (Fig.7).



Figure7. Dispositif de piégeage et de mesure des émissions de gaz et installation dans une zone active du terril n°76, 2002.

Sur le terril n°76, deux stations de mesure ont été montées à 3 m d'intervalle au front A et une au front B (Fig.6). À cause de conditions d'accès plus difficiles, une seule station de mesure a été montée sur le terril n°83 mais les analyses ont toutefois été répétées. Le tableau 1 donne les résultats des mesures. L'analyseur CO/CO₂ n'a pas fonctionné lors de la première campagne de prélèvements.

Tableau I. Compositions des émissions de gaz sur les terrils n°76 et n°83.

Date	Site	Air T°C	Gaz T°C	Temps	SO ₂	CO	CO ₂	*CH ₄	NO _x	O ₂	H ₂ O
23.5.2002	N°76	28,3	100,5	11,15	< 7,4 mg/m ² /h			29,8 mg/m ² /h			
			255,7	12,10	16,4 mg/m ² /h			17,5 mg/m ² /h			
	N°83	26,5	74,3	3,30	29,6 mg/m ² /h			35,7 mg/m ² /h		99%	
10.6.2002	N°76	20,4	99,7	12,35	14,3 mg/m ² /h	71,6 mg/m ² /h	71,6 mg/m ² /h		18,2 mg/m ² /h		3,55 kg/h/m ² émis par le sol
	N°83	24,4	77,8	2,15	22 to 37 mg/m ² /h	13 to 16 mg/m ² /h	30,7-71,6 g/m ² /h	37,2 -96,7 mg/m ² /h	10 to 14 mg/m ² /h	13% to 18%	900 g/h/m ² émis par le sol

*mesure du méthane, des hydrocarbures non méthaniques et des hydrocarbures totaux

Les mesures effectuées sont bien sûr ponctuelles mais montrent le relâchement lors de la combustion de CO, CO₂, CH₄, SO₂ et NO_x. Si l'on extrapole ces mesures à l'ensemble du terril et tout au long de sa combustion, le flux de ces éléments est loin d'être négligeable. Chacun de ces gaz est potentiellement dangereux pour les êtres vivants en cas de concentration élevée.

De plus, les vapeurs qui se dégagent du sol dans un climat humide sont d'ailleurs considérés comme toxiques (Flann et Lukaszewski, 1971). En conclusion, il nous semble particulièrement important de mesurer sur le terrain les quantités de CO₂ et de CH₄ libérées par la combustion dans les terrils pour apprécier son impact sur l'effet de serre et le risque local de pollution atmosphérique ou de danger d'explosion. Le méthane est particulièrement important de ce point de vue. Il a d'ailleurs un impact beaucoup plus important que le CO₂ dans l'effet de serre (Carras et al, 1999).

4. Conclusions

- La combustion spontanée ou artificielle des terrils à charbon de la région Nord-Pas-de-Calais présente un certain nombre de risques potentiels pour l'environnement.

- La combustion spontanée pourrait être liée à la présence d'une accumulation peu compacte et hétérogène de déchets miniers contenant encore une quantité significative de matériels combustibles.

- A priori, la combustion dans ces terrils peut également être provoquée par des causes extérieures naturelles ou artificielles comme des feux de broussailles.

- La combustion entraîne l'émission de chaleur, de fumée et de gaz toxiques comme CO, CO₂, CH₄, SO₂ et NO_x. Chacun de ces gaz peut être dangereux s'il est inhalé à de fortes concentrations. De plus, CO₂ et CH₄ sont des gaz à effet de serre. D'autre part, l'exhalation de vapeurs sulfuriques et de ces gaz à des températures supérieures à 200°C peut provoquer des incendies ou des explosions dans les terrils.

- La combustion génère des instabilités mécaniques dans le terril comme le montre les phénomènes de subsidence de surface, le développement de fissures et d'ouvertures circulaires enregistré dans les zones actives.

- Les risques environnementaux déterminés par cette étude ne sont pas limités aux deux terrils étudiés. Il s'agit de risques potentiels pour tous les terrils ou structures de stockage de déchets miniers à charbon de la région qui peuvent entrer en combustion spontanée ou accidentelle.

- La grande quantité de matériels combustibles stockés en surface de notre région fait que ces risques perdureront pendant de longues années. Il semble donc indispensable de poursuivre des études scientifiques de ces processus de combustion afin de mieux appréhender ces risques et de proposer des solutions pour les limiter, voire les éliminer.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier F. Cazier et son équipe de l'Université du Littoral de Dunkerque pour son aide dans l'analyse des gaz. Nous remercions également J.L. Bertin et son équipe du département énergétique de l'École des Mines de Douai et D. Milhau, J.Adams, Y. Coquinot et J. Carpentier pour leur aide technique dans ce projet.

5. Références Bibliographiques

Carras J.N., Day S., Saghafi A. Williams D.J. (1999) Spontaneous combustion in spoil piles from open cut coal mines and the emission of greenhouse gases. *2nd international symposium on the operationalization of remote sensing, ITC, Enschede, the Netherlands, 16-20 August, 8 pages.*

Flann R.C., Lukaszewski G.M. (1971) The prevention and control of burning in waste coal dumps. In: *Proceedings of the Australian Institute of Mining and Metallurgy, n° 238, 11-29.*

Harries J.R., Ritchie A.I.M. (1980) The use of temperature profiles to estimate the pyritic oxidation and Soil Pollution rate in waste rock dump from an opencut mine. *Water, Air, 15, 405-423.*

- Lefebvre R., Gélinas P., Isabel D. (1993) Heat transfer during acid mine drainage production in a waste rock dump, la mine Doyon, Québec. *Final report, 48 pages.*
- Maneval D.R. (1976) Assessment of latest technology in coal refuse fire extinguishments. *Mining Congr. J. 62 (5), 45-52.*
- National Coal Board (1970) Spoil heaps and lagoons. *Technical Handbook, London.*
- Nichol D., Tovey N.P. (1998) Remediation and monitoring of a burning coal refuse bank affecting the Southsea Looproad at Brymbo, North Wales. *Engineering Geology 50, 309-318.*
- Paquette Y. (2001) Concession de Courrières. In : Charbonnage de France, *service des sites arrêtés et de l'environnement, Nord-Pas-de-Calais, Novembre, 4 pages.*
- Surschist S.A. (1993) Demande d'autorisation pour exploiter le terril de schistes miniers N°76 dit «7 de Liévin». *Commune d'Avion, département du Pas-de-Calais, 135 pages.*