B U L L E T I N

de la
lutte contre les déversements

ISSN 0381-4459

VOLUME 16 (1)
MARS 1991

ÉMISSION D'HYDROCARBURES AROMATIQUES POLYCYCLIQUES LORS DE LA COMBUSTION DE PÉTROLE BRUT SUR L'EAU*

par : *Bruce A. Benner, Jr., Nelson P. Bryner, Stephen A. Wise, George W. Mulholland et David D. Evans,* National Institute of Standards and Technology, *Gaithersburg, MD 20899*

Mervin F. Fingas et Ken Li, Environnement Canada, Ottawa (Ontario), Canada, K1A 0H3

Résumé

On a procédé à l'examen de certains facteurs nécessaires à l'évaluation des répercussions sur le milieu d'une combustion *in situ*; on a mesuré la fraction d'une nappe de pétrole qui peut être brûlée, la quantité de fumée produite ainsi que la concentration de 18 hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) dans la fumée, le brut et le résidu. Du pétrole brut Sweet Mixed-Blend Crude (mélange de pétrole soufré mixte de l'Alberta) en nappes de 2, 3, 5, 10 et 30 mm d'épaisseur sur l'eau a été soumis à une combustion, et des échantillons de fumée ont été prélevés à température élevée et ambiante puis analysés dans deux laboratoires indépendants. Alors que la combustion du brut produisait moins de HAP totaux qu'il n'y en avait à l'origine dans le brut à brûler, la concentration de HAP formés de cinq noyaux ou plus était 10 à 20 fois supérieure dans la fumée à ce qu'elle était dans le pétrole. La fraction de carbone organique dans la fumée se tenait dans la plage de 14 à 21 %. À mesure que l'épaisseur de la couche de pétrole était portée de 2 à 10 mm,

Voici le deuxième numéro du Bulletin de la lutte contre les déversements qui porte sur la combustion *in situ* du pétrole déversé.

Le lecteur y trouvera un article rédigé conjointement par le personnel du *National Institute for Standards and Technology* (NIST) et d'Environnement Canada. Cet article porte sur les aspects scientifiques associés aux HAP produits lors de la combustion du pétrole brut. L'étude montre que la quantité de HAP trouvée dans la suie et le résidu a sensiblement la concentration des HAP trouvés dans le pétrole à brûler. Cependant, les HAP à poids moléculaire élevé sont trouvés en concentration supérieure dans la suie. On peut tirer la conclusion que les effets d'un déversement de pétrole peuvent être atténués par la combustion *in situ* et que la teneur en HAP reste dans des limites admissibles.

* Version succincte d'un manuscrit publié antérieurement : *Environ. Sci. Technol. 24*, 1418-1427 (1990)

Canada

Environnement Canada Environment Canada

la production de fumée passait de 0,035 à 0,080 g de fumée/g de combustible. À l'inverse, le résidu de pétrole passait de 46 à 17 %. À cause de la combustion de la majeure partie du pétrole déversé et de la réduction de la quantité de HAP dans l'eau et en raison de la dispersion des produits de combustion sur une superficie beaucoup plus grande, la combustion *in situ* permet d'atténuer les répercussions à l'échelle locale sur le milieu d'un déversement de pétrole. Il semble exister un certain nombre de situations, et on pense notamment aux champs de glace de l'Arctique, où la combustion *in situ* du pétrole pourrait constituer la méthode de nettoyage la plus pratique.

Introduction

Depuis 1970, plus de 4 000 puits de pétrole offshore[1,2] ont été creusés aux États-Unis; ces forages se poursuivent dans des régions de plus en plus éloignées, comme l'océan Arctique. Les forages en région éloignée et le transport de pétrole brut extrait de ces puits ont accru les possibilités de déversements majeurs de pétrole dans ces régions. Les mesures classiques de lutte contre les déversements peuvent être efficaces lorsque l'équipement de nettoyage et les navires arrivent assez rapidement à la nappe, mais dans les régions éloignées comme l'Arctique canadien, il pourrait être difficile de s'y rendre rapidement, et le mauvais temps pourrait compliquer considérablement les opérations de nettoyage. Le déversement du *Exxon Valdez*, au large de la côte de l'Alaska, a mis en relief certaines des difficultés associées au transport rapide d'équipement classique de nettoyage jusqu'à une zone de déversement. Afin de contourner les difficultés de mise en application des techniques classiques de nettoyage, la combustion *in situ* a été proposée.

Beaucoup d'aspects de la combustion *in situ*, notamment les techniques d'allumage des nappes de pétrole[3], la vitesse de combustion[4-7], l'altération à l'air[8,9], les effets de la glace[10,11] ainsi que la dispersion du panache de fumée[12] ont fait l'objet d'études. Thompson *et al.*[3] se sont livrés à une définition extensive des conditions qui se prêtent à une combustion *in situ*. Toutefois, les répercussions sur le milieu de l'application de cette méthode n'ont pas été chiffrées. La présente étude vise à éclaircir certaines facettes des répercussions sur le milieu de la combustion *in situ*, ce qui comprend notamment la fraction d'une nappe de pétrole qui peut être brûlée, la composition du résidu non brûlé ainsi que la quantité et la composition de la fumée produite.

Il est essentiel de déterminer la concentration de certains HAP dans le brut, le résidu et la fumée, en vue d'une évaluation des répercussions sur le milieu, puisqu'on suspecte certaines classes de HAP d'être carcinogènes[13-16]. La présence de certains HAP dans le brut lui-même est un fait connu, et on sait aussi que des HAP sont produits lors de la combustion de combustible composé d'hydrocarbures; cependant, il n'existe pas de résultat chiffré sur la proportion de HAP dans le brut par rapport à la proportion émise au moment de la combustion du pétrole. Dans cette étude, du pétrole brut soufré de l'Alberta en nappes de 2, 3, 5, 10 et 30 mm d'épaisseur sur l'eau a été soumis à une combustion : 18 HAP distincts ont été identifiés et dosés dans le pétrole brut, dans le résidu de combustion et dans la fumée. Deux laboratoires ont analysé les émissions de particules et de la phase vapeur ainsi que le pétrole brut et le résidu de combustion afin de détecter des classes de HAP. On a pu déduire une estimation du total des HAP émis à partir des résultats sur la fraction de pétrole brûlé, la quantité de fumée produite par unité de masse de combustible brûlé ainsi que la teneur en HAP de la fumée, du brut et du résidu.

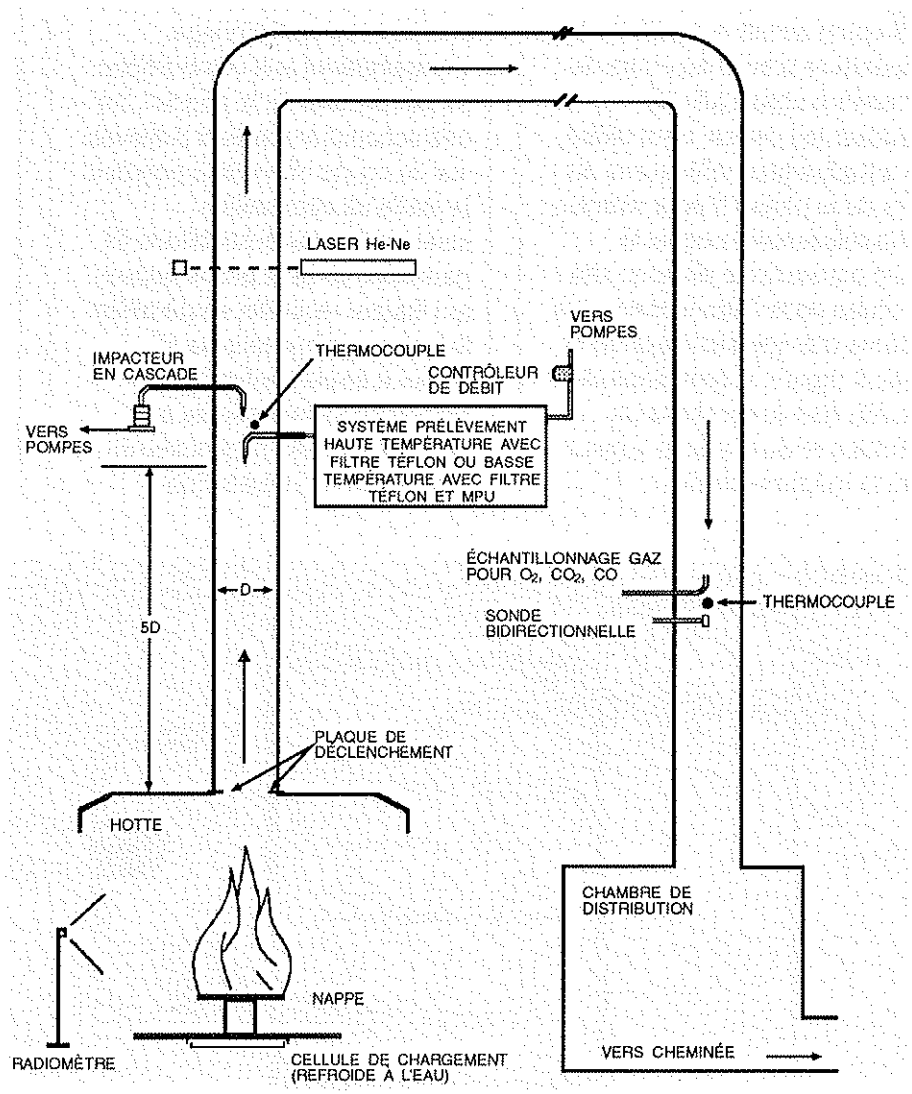
Méthodes expérimentales

Des échantillons de la phase vapeur et des particules ont été recueillis pendant la combustion de pétrole brut soufré de l'Alberta (intervalle de distillation de 37 °C à plus de 350 °C, densité à 20 °C = 840 kg/m^3, point d'éclair = 7 °C). La combustion du brut était pratiquée dans un plateau de 0,6 m de diamètre qui était déposé sous une hotte de 2,4 × 2,4 m (figure 1). Une torche au propane était utilisée pour allumer le pétrole qui flottait sur une couche d'eau d'environ 4 cm de profondeur. Une cellule de chargement, refroidie à l'eau et située sous le plateau, mesurait en continu le taux de perte de masse durant chaque combustion. Au cours de la première partie de l'étude

(phase I), la fumée produite par la combustion d'une nappe de pétrole brut de 30 mm a été recueillie à haute température (100 °C) et à température ambiante (25 °C). Au cours de la deuxième partie des travaux (phase II), des nappes de pétrole brut de 2, 3, 5 et 10 mm d'épaisseur ont été soumises à une combustion, et des échantillons de particules et de la phase vapeur étaient recueillis simultanément à température ambiante.

Deux systèmes différents de filtration, installés au-dessus de la hotte, ont servi à recueillir les échantillons. Le système de filtres utilisés au cours de la phase I (figure 2) a permis de recueillir jusqu'à trois échantillons de particules durant chaque combustion. Le débit d'échantillonnage (10 L/min) et le diamètre de la buse de prélèvement (0,44 cm) ont été choisis pour permettre d'obtenir un échantillonnage isocinétique à une vitesse de prélèvement à la buse d'environ 11 m/s. Pour la cueillette des échantillons à haute température, la conduite de transfert, le collecteur et les porte-filtres étaient tous chauffés jusqu'à la température observée dans la cheminée afin de minimiser les effets attribuables à l'évaporation et à la condensation ainsi que les pertes sur les parois du circuit de prélèvement. Lors de la cueillette à basse température, une section de dilution était insérée juste en aval de la buse d'échantillonnage, et les chaufferettes étaient fermées. La fumée était soutirée par la sonde d'échantillonnage isocinétique jusque dans la

Figure 1
Dispositif de combustion d'une nappe de pétrole brut



section de dilution, où elle était diluée dans une proportion de 2 à 1 (en masse) dans un air à 0 °C, ce qui avait pour effet de refroidir la fumée à moins de 2 °C de la température ambiante. Aux deux températures, des échantillons couplés sur filtre de téflon étaient prélevés séquentiellement durant la phase stationnaire de combustion. Après la cueillette, chaque échantillon sur filtre de téflon était pesé, placé dans des boîtes de Pétri scellées et conservé sous de la glace sèche jusqu'au moment de son transfert dans un congélateur (-20 °C).

Quoi qu'on ait fait la cueillette à température élevée au cours de la première phase afin de minimiser les pertes, on a utilisé des températures inférieures au cours de la phase II pour simuler le refroidissement auquel la fumée est soumise alors qu'elle est diluée dans l'atmosphère. Le système d'échantillonnage de la phase II (figure 3) permettait de recueillir des échantillons de particules et de la phase vapeur. Avec la même buse de prélèvement isocinétique et le même système de dilution qui avaient été utilisés lors des combustions précédentes, la fumée diluée était prélevée en parallèle dans deux circuits d'échantillonnage constitués chacun d'un filtre en téflon de 64 mm de diamètre, qui était suivi d'un tampon en mousse de polyuréthane (MPU) disposé dans un tube de verre de 37 mm de diamètre et de 150 mm de longueur. Les tampons de MPU étaient placés en aval des filtres de téflon et recueillaient des échantillons de HAP contenus dans la phase vapeur ainsi que des HAP désorbés du filtre pendant l'échantillonnage. Contrairement aux combustions de pétrole brut de la phase I, où des échantillons étaient prélevés sur de courts intervalles pendant le stade de combustion stationnaire, les échantillons de particules et de la phase vapeur qui étaient recueillis en parallèle lors des combustions de la phase II étaient prélevés de manière continue depuis le moment de l'allumage jusqu'au moment où la combustion cessait. Afin de recueillir une masse suffisante pour la tenue des analyses, il a été nécessaire de répéter les combustions des nappes de pétrole qui mesuraient 2, 3 et 5 mm d'épaisseur. À la fin d'une combustion ou d'une série de combustions, les filtres de téflon étaient pesés et placés dans des boîtes de Pétri scellées, tandis que les tubes qui contenaient la MPU étaient conservés dans le papier aluminium. Les filtres de téflon et les filtres de MPU étaient conservés sous la glace sèche jusqu'à leur transfert dans un congélateur. En plus des filtres de téflon et de MPU, cinq échantillons de brut prélevés avant la combustion et sept échantillons de résidu prélevés après la combustion étaient aussi conservés aux fins d'analyse chimique. Afin de déterminer la masse de pétrole qui restait après que le feu se soit éteint, un absorbant oléophile en nappe était pesé et appliqué ensuite sur l'eau pour absorber le pétrole non brûlé. Puisque ce tissu oléophile absorbe préférentiellement le pétrole, il n'y avait que d'infimes

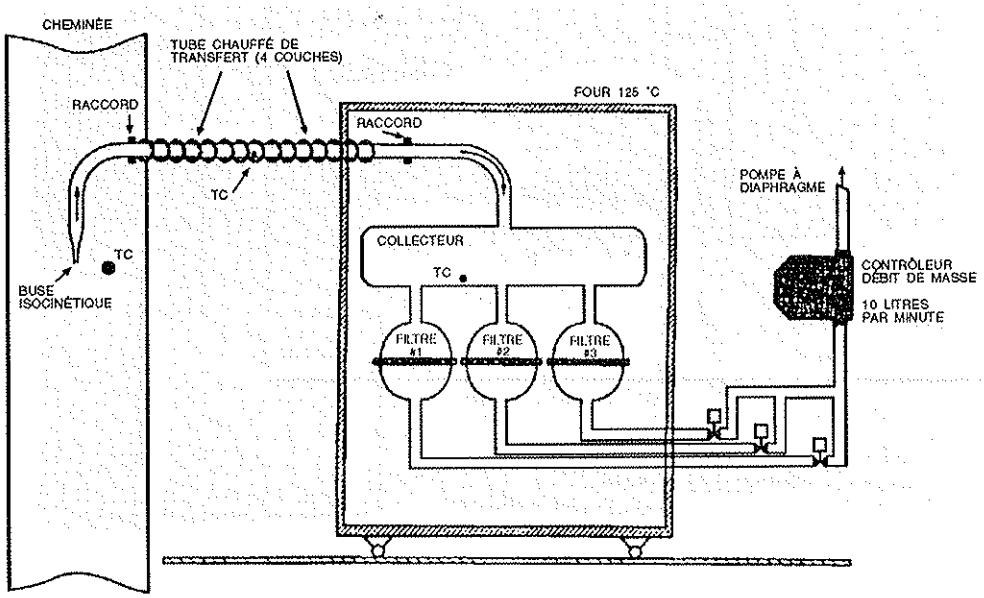


Figure 2
Appareil de prélèvement d'échantillons à haute température sur filtre de téflon (TC =thermocouple)

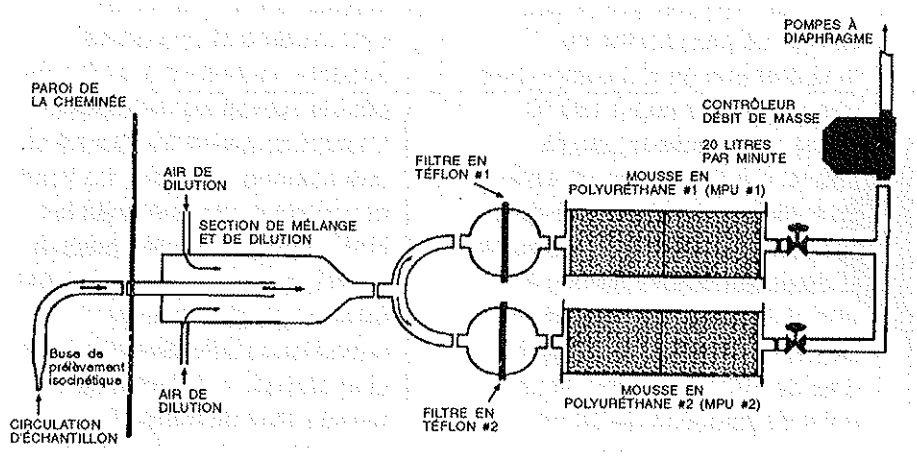


Figure 3
Appareil de prélèvement d'échantillons à basse température sur filtres de téflon et de MPU

quantités d'eau qui étaient recueillies en même temps; il suffisait alors de peser l'absorbant à nouveau pour déterminer la masse du pétrole non brûlé. Des échantillons de suie ont été recueillis sur des filtres en fibre de quartz en vue de dosages thermo-optiques du carbone élémentaire par rapport au carbone organique. Les précautions d'usage pour éviter la contamination des échantillons avant le prélèvement de ces derniers ont été prises : le filtre était chauffé pendant plusieurs heures à 700 °C, et le papier aluminium utilisé pour recouvrir les contenants des échantillons était chauffé jusqu'à 500 °C pendant plusieurs heures. Les filtres en quartz étaient installés sur le deuxième système de prélèvement, mais des échantillons sur MPU n'étaient pas prélevés. Puisque la technique thermo-optique nécessite beaucoup moins de suie par filtre, la vitesse d'échantillonnage de la fumée était d'en moyenne 2 L/min.

Dosage des HAP et du carbone

Les dosages de HAP sur 23 filtres de téflon et 12 échantillons de MPU ont été pratiqués par Environnement Canada (EC) à Ottawa et par le Centre de chimie analytique du NIST. Les dosages faits au NIST comportaient notamment la chromatographie en phase gazeuse (CG) avec détections à ionisation de flamme, alors que EC avait recours à la CG avec des détections par spectrométrie de masse (CG-SM) afin de doser les HAP individuellement. En outre, des dosages de HAP étaient faits sur cinq échantillons de pétrole brut et sept échantillons de résidu de combustion.

Les filtres de téflon et les échantillons sur MPU dosés au NIST étaient enrichis au moyen de quantités appropriées d'un étalon interne qui contenait du phénanthrène-d_{10} et du 1-*n*-butylpyrène; ils étaient ensuite soumis à une extraction sur appareil Soxhlet au dichlorométhane (DCM) d'une durée de 13 à 18 h. Une solution de récupération d'essai, qui contenait des quantités connues de 17 HAP, était enrichie et soumise au même traitement que les échantillons. Les extraits étaient concentrés par évaporation par rotation jusqu'à un volume d'environ 5 mL et concentrés davantage sous atmosphère d'azote (N_2) jusqu'à 1 mL. La moitié de chaque fraction extraite était transférée sur une cartouche de silice pour extraction en phase solide, sur laquelle était pratiquée une élution avec 15 mL d'une solution de 10 % de DCM dans le pentane. L'autre moitié des extraits était conservée au réfrigérateur à 4 °C. Les éluats étaient concentrés presque à siccité sous atmosphère de N_2 et remis en solution dans une solution à 5 % de DCM dans le pentane. Les échantillons étaient injectés dans une colonne pour chromatographie en phase liquide (CL) d'aminosilane de 9 mm × 25 cm, et ils étaient élués avec une phase mobile constituée d'une solution de 5 % de DCM dans le pentane, à une vitesse de 5 mL/min; la fraction de HAP recueillie commençait avec le phénanthrène et finissait

avec le coronène. Les fractions de HAP étaient concentrées par évaporation par rotation jusqu'à moins de 0,5 mL, transférées à des fioles coniques d'échantillonnage, concentrées sous atmosphère de N_2 jusqu'à siccité et dissoutes dans environ 20 L de DCM.

Les échantillons de pétrole brut et les résidus qui ont été analysés au NIST ont été préparés selon la méthode décrite par Kline *et al.*[17]. Essentiellement, les échantillons étaient pesés dans des fioles d'Erlenmeyer de 50 mL, enrichis avec la même solution d'étalon interne, dilués avec 2 mL d'une solution de 5 % de DCM dans le pentane et agités à la main pendant une minute. Une fraction de HAP provenant des échantillons de brut et de résidu ainsi qu'une solution de récupération d'essai étaient obtenues de la même façon que les extraits des filtres et de la MPU. Les cartouches de silice n'ont pas été utilisées dans la préparation des échantillons de brut et de résidu en vue du fractionnement par CL.

Le NIST a utilisé la CG et à détection à ionisation de flamme (DIF) pour mesurer les HAP dans les fractions de CL obtenues à partir du filtre, de la MPU et des échantillons de brut. La colonne pour CG utilisée dans ces travaux était une colonne capillaire de silice fondue de 0,25 mm × 30 m qui était enduite d'une phase de polysiloxane à 5 % de substituant phényle (DB-5, *J & W Scientific, Inc.*, Folsom, CA). La colonne de CG était utilisée en mode alternatif (par segments de 30 mL/min); l'hélium servait de gaz vecteur (pression de la colonne : 15 livres par pouce carré). Le programme de températures de CG comprenait une étape de 2 min à 150 °C, suivie d'un gradient jusqu'à 280 °C à 4 °C par min et, enfin, d'un plateau de 15 min à cette température finale. L'injecteur et le détecteur étaient gardés à 300 et 320 °C, respectivement. La DIF fonctionnait à un débit d'air de 200 mL par min et un débit d'hydrogène de 30 mL par min. Un blanc constitué de solvant (DCM) était injecté au commencement de la journée, et l'échantillon de solution de récupération d'essai était ordinairement passé à un moment aléatoire au cours des passages. Les facteurs obtenus par le passage de la solution de récupération d'essai servaient au calcul des concentrations de HAP dans les échantillons injectés au cours de la même journée. Les échantillons préparés à partir des filtres de téflon étaient passés en double, alors que les échantillons préparés à partir de la MPU, du brut et du résidu étaient analysés une seule fois. Les deux pièces de mousse qui constituaient le tampon de MPU-12 (phase II) étaient soumises à des extractions séparées afin de déterminer si des HAP étaient recueillis ou non sur la partie du côté en aval de la mousse. La présence de HAP sur les deux parties pourrait indiquer que ces classes de HAP traversent la MPU.

Les échantillons analysés par EC étaient enrichis avec un mélange de HAP deutérés et soumis à une extraction dans le DCM à l'obscurité pendant environ 14 h. Dans le cas de l'échantillon de pétrole, 0,75 g de pétrole était dissous dans 3,75 mL de cyclohexane et une partie aliquote équivalant à 0,08 g de pétrole servait au nettoyage. L'extrait brut était fractionné sur une colonne de silice. La fraction benzénique, qui contenait les HAP, était concentrée jusqu'à 0,5 mL et analysée par CG-SM avec un programme de surveillance sélective d'ions en cinq étapes; la colonne de CG utilisée était du même type que celle utilisée dans l'étude du NIST. Un mélange d'étalons de HAP était traité en même temps afin d'évaluer la récupération des HAP. Alors qu'il faut une séparation préliminaire poussée pour conduire à l'isolement de la fraction riche en HAP au moyen de la technique de CG avec détection à ionisation de flamme, appliquée par le NIST, la détection par SM utilisée par EC nécessite une préparation minimale.

Malgré le grand nombre de HAP identifiés, cette classe de composés n'était qu'une partie seulement de la fraction qu'on a désignée «carbone organique». La fraction totale de carbone organique a été déterminée à marché par un laboratoire qui a pratiqué le dosage thermo-optique du carbone organique par rapport au carbone élémentaire[18] dans les particules recueillies sur les filtres constitués de fibres de quartz.

La production de fumée ε, définie comme étant la masse d'aérosol dans la fumée par unité de masse de combustible brûlé, a été déterminée pour chaque épaisseur de nappe d'huile au moyen de l'équation suivante :

$$\varepsilon = (m_s/m_f)\phi \qquad (1)$$

La production de fumée a été obtenue en mesurant la masse de fumée recueillie sur un filtre, m_s, en mesurant la perte de masse de l'échantillon, m_f, et en mesurant le rapport du débit de masse dans la conduite de ventilation au débit de masse dans l'échantillonneur à filtre, ϕ.

Résultats

De manière générale, les échantillons prélevés sur les filtres de téflon à température ambiante obtenaient des concentrations nettement supérieures parmi tous les HAP identifiés, alors que les échantillons prélevés à haute température contenaient systématiquement davantage de composés à poids moléculaire élevé parce que la majorité des composés à trois et quatre noyaux se trouvaient dans la phase vapeur et n'étaient donc pas retenus sur les filtres. La concentration de 18 HAP contenus dans les extraits des quatre échantillons prélevés à température élevée et dans les extraits des quatre échantillons prélevés à basse température au cours de la phase I a été mesurée (tableau 1). Toutes les concentrations de phénanthrène et d'anthracène rapportées dans les échantillons H-2, #1 et H-2, #2 ont été calculées en prenant comme étalon interne le phénanthrène-d_{10} du NIST puisque la volatilité de cette substance est semblable à celle du phénanthrène. Les autres HAP mesurés étaient relativement peu volatils; ils ont été dosés au NIST en prenant le 1-*n*-butylpyrène comme étalon interne. L'anthracène-d_{10}, le pyrène-d_{10}, le benz[*a*]anthracène-d_{12}, le pérylène-d_{12} et le fluoranthène-d_{12} ont servi comme étalons internes à EC afin de compenser pour la variabilité de la récupération des HAP. Au cours de la phase I de l'étude, les échantillons de particules prélevés à haute température étaient pris de manière séquentielle, et les échantillons prélevés vers la fin de la période de combustion, comme le H-2, #2, dosé au NIST, et le H-4, #2, dosé à EC, semblent être enrichis en HAP de pression de vapeur supérieure et inférieure.

Puisque les échantillons prélevés à haute température l'étaient pendant un court intervalle de la combustion, la comparaison directe des résultats obtenus par les deux laboratoires à partir des échantillons à haute température ne se comparent pas directement. Cependant, dans le cas des échantillons prélevés à basse température, la fumée a été échantillonnée tout au long de la combustion de sorte que les résultats sont comparables; typiquement, les résultats obtenus par les deux laboratoires ne diffèrent pas de plus de 10 à 20 % dans le cas des HAP individuels contenus dans les échantillons C-5 (NIST) et C-7 (EC).

Les échantillons prélevés à haute température et à température ambiante ont été recueillis au cours de la phase I, alors que les paires d'échantillons de particules et de phase vapeur ont été prélevées à température ambiante au cours de la phase II et en fonction de l'épaisseur des couches de pétrole. La concentration de six HAP trouvés dans les extraits de cinq MPU et des filtres correspondants de téflon (tableau 2) correspond à celle des HAP qui se trouvaient être proprement dans la phase vapeur ainsi que celle des HAP qui se sont désorbés des particules retenues et qui ont subséquemment été arrêtés sur la MPU. La figure 4 montre un chromatogramme de phase gazeuse qui correspond à un échantillon type obtenu par combustion de pétrole brut (T-12). Le chromatogramme de phase gazeuse d'un blanc de terrain enrichi montre qu'il y a peu de réponse sauf dans le cas d'un contaminant qui n'a pas nui au dosage des HAP. Ces échantillons de combustion de pétrole brut étaient représentatifs de l'entière distribution des HAP typiques des échantillons de suie, du phénanthrène et de l'anthracène à trois noyaux au coronène à sept noyaux. Les sections du haut et du bas de l'échantillon PUF-12 ont été traitées séparément afin de déterminer s'il y avait eu ou non des HAP qui n'avaient pas été arrêtés. Aucun des HAP n'a été observé en concentration importante dans la section du bas de l'échantillon PUF-12, ce qui indique que l'échappement de HAP ne constituait pas un problème. Au moins trois HAP, tous des composés à trois noyaux, ont été recueillis en quantité importante dans la phase vapeur.

La répartition des HAP entre les particules et la phase vapeur variait selon les échantillons; la combustion du pétrole en couches minces faisait passer davantage de HAP dans la phase vapeur. La désorption des HAP

Tableau 1 Concentration moyenne de HAP dans des échantillons[a] de fumée produite par du pétrole brut soufré de l'Alberta

		PRÉLÈVEMENT À 100 °C				PRÉLÈVEMENT À 25 °C			
N° [b]	HAP	H2,#1 µg/g[c]	H2,#2 µg/g	H4,#1 µg/g	H4,#2 µg/g	C5,#1 µg/g[c]	C5,#2 µg/g	C7,#1 µg/g	C7,#2 µg/g
	Acénaphthylène			3	2			35	59
	Acénaphthène			N.D.[d]	N.D.			N.D.	1
	Fluorène			4	3			130	140
1.	Phénanthrène	31[e]	21[e]	95[f]	58[f]	910	1 040	1 220[f]	1 220[f]
2.	Anthracène	N.D.	N.D.			260	290		
6.	Fluoranthène	47	37	210	130	700	730	740	720
7.	Acéphénanthrylène	22	22						
8.	Pyrène	65	49	260	150	900	840	800	780
9.	Benzo[*ghi*] fluoranthène	69	65			240	220		
10.	Cyclopenta[*cd*] pyrène	24	110			540	540		
11.	Benz[*a*]anthracène	63	87	88	180	220	220	240	220
12.	Chrysène/ triphénylène	71	87	95	190	220	230	220	220
13.	Benzofluoranthènes	190	350	490	520	380	390	420	410
15.	Benzo[*e*]pyrène	66	110	92	220	120	120	180	170
16.	Benzo[*a*]pyrène	110	200	73	190	240	180	210	200
17.	Pérylène	19	38	18	52	42	41	45	47
18.	Indéno[1,2,3-*cd*] pyrène	110	220	250	750	190	190	540	530
19.	Benzo[*ghi*] pérylène	130	240	87	240	210	210	180	180
	Conc. totale HAP[g]	900	1 440	1 760	2 680	4 390	4 480	4 800	4 700

a Échantillons H-2 et C-5 analysés par NIST; échantillons H-4 et C-7 analysés par EC.
b Numéros d'identification des pointes pour la figure 4.
c µg de HAP/g de fumée; l'incertitude est estimée à ± 10 % de la concentration rapportée dans le cas des échantillons H-2 et C-5.
d Non détecté.
e Concentration calculée en prenant le phénanthrène-d_{10} comme étalon interne; toutes les autres concentrations sont 1-*n*-butylpyrène comme étalon interne dans le cas des échantillons.
f Ce chiffre correspond à la somme du phénanthrène et de l'anthracène.
g Seuls les HAP communs aux deux analyses (NIST et EC) sont compris dans la somme.

explique probablement la variation selon les échantillons puisque l'intervalle total de prélèvement était trois à cinq fois supérieur lors des combustions du pétrole en couches de 2 et 3 mm à ce qu'il était lors de la combustion du pétrole en couches de 5 et 10 mm. Chaque combustion du pétrole en couches de 2 et 3 mm était courte, mais il fallait beaucoup de combustions (13 dans le cas du pétrole en couche de 2 mm et 7 dans le cas du pétrole en couche de 3 mm) pour qu'on puisse avoir une masse suffisante de fumée en vue des analyses. Lorsque les résultats obtenus dans les phases vapeur et de particules sont combinés, on ne discerne pas d'effet systématique de l'épaisseur de la couche de pétrole sur la teneur en HAP à trois noyaux. Les résultats exprimés en total de HAP par unité de masse de fumée (tableau 3) témoignent d'une certaine variabilité d'un échantillon à l'autre, mais il

n'existe pas de relation évidente avec l'épaisseur des couches de pétrole. Tant la quantité totale que le type de HAP semblent ne pas dépendre de l'épaisseur de la couche de pétrole brûlée. En outre, les résultats s'apparentent à ceux obtenus lors du prélèvement des fumées au cours de la phase de combustion stationnaire d'une couche de pétrole brut de 30 mm d'épaisseur durant la phase I. La concentration du phénanthrène et celle de l'anthracène sont faibles dans le cas de la combustion du pétrole en nappe de 30 mm, mais ce résultat était prévisible puisque seulement la phase des particules a été prélevée dans cet échantillon.

La concentration des HAP dans les deux échantillons de pétrole brut et trois échantillons de résidus de la phase II (tableau 4) indique que la teneur en HAP de ces échantillons est comparable. Des chromatogrammes de phase gazeuse typiques (figure 5) d'un échantillon de pétrole brut (fraction des HAP) et du résidu montrent une similarité dans leur composition en HAP. Ces échantillons sont composés à plus de 90 % de HAP à trois noyaux, avec des concentrations élevées de phénanthrènes, de méthylphénanthrènes et de diméthylphénanthrènes. La concentration des HAP à quatre et cinq noyaux était inférieure par un facteur de 10 ou plus à la concentration des HAP à trois noyaux. Les échantillons de suie étaient remarquablement pauvres en alkylphénanthrènes, à comparer aux échantillons de

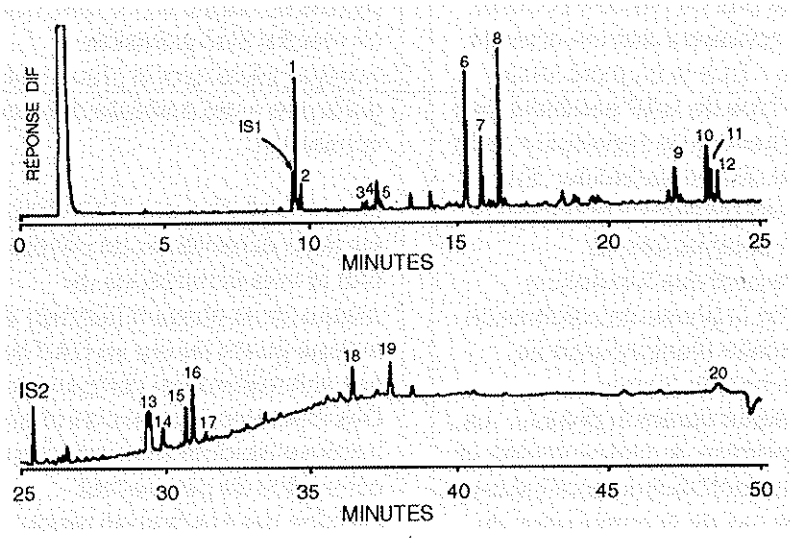
Tableau 2 Concentration de six HAP prélevés dans la phase vapeur et la phase particules lors de la combustion de pétrole brut soufré de l'Alberta (µg HAP dans les extraits)

Échantillon	Acénaphthylène	Phénanthrène	Anthracène	Fluoranthène	Acéphénanthrylène	Pyrène
7 Couche de 2 mm						
T-07[1]	-	1,5	0,4	2,5	-	2,9
PU-07[2]	13,0	8,9	2,3	1,8	-	1,6
% dans vapeur	100	86	85	41	-	35
9 Couche de 3 mm						
T-09	-	3,2	0,7	4,9	3,0	6,2
PU-09	-	12,6	3,0	2,3	1,0	2,2
% dans vapeur	-	80	82	32	24	26
12 Couche de 5 mm						
T-12	-	3,3	1,0	4,3	2,5	5,2
PU-12	-	4,7	1,0	0,5	0,2	0,5
% dans vapeur	-	59	50	11	8	9
5 Couche de 10 mm						
T-05	-	9,0	2,7	9,4	5,3	10,6
PU-05	-	10,2	2,0	0,2	0,1	0,2
% dans vapeur	-	53	43	2	1	2
6 Couche de 10 mm						
T-06	-	7,2	2,5	9,7	-	9,8
PU-06	25,3	11,1	3,1	0,3	-	0,3
% dans vapeur	100	61	56	3	-	3

[1] Échantillons sur filtres de téflon (phase particules). Les échantillons 5, 9 et 12 ont été analysés au NIST; les échantillons 6 et 7 à EC.
[2] Échantillons sur mousse de polyuréthane (phase vapeur).

Figure 4

Chromatogramme de phase gazeuse de l'échantillon T-12 recueilli sur filtre de téflon



Identification des pointes : (IS1) phénanthrène-d_{10}; (1) phénanthrène; (2) anthracène; (3) 2-méthylphénanthrène; (4) 3-méthylphénanthrène; (5) 1-méthylphénanthrène; (6) fluoranthène; (7) acéphénanthrylène; (8) pyrène; (9) benzo[*ghi*]fluoranthène; (10) cyclopenta[*cd*]pyrène; (11) benz[*a*]anthracène; (12) chrysène et triphénylène; (IS2) 1-*n*-butylpyrène; (13) benzo[*b*, *j* et *k*]fluoranthènes; (14) benzo[*a*]fluoranthène; (15) benzo[*e*]pyrène; (16) benzo[*a*]pyrène; (17) pérylène; (18) indéno[1,2,3-*cd*]pyrène; (19) benzo[*ghi*]pérylène; (20) coronène.

brut et de résidu, ce qui porte à penser que les échantillons de suie ne contiennent pas de grande quantité de brut non brûlé (10 % ou moins).

La fraction de carbone organique dans la fumée variait de 14 à 21 % du total; aucune tendance importante en fonction de l'épaisseur de la couche d'huile n'était apparente. Le pourcentage restant, de 79 à 86 %, était décrit comme étant du carbone élémentaire. Ces résultats sont à comparer aux fractions de carbone organique, correspondant à 10 % ou moins du total, qui ont été obtenues lors du prélèvement de fumée au cours de la phase I pendant l'étape de la combustion stationnaire. Les pourcentages supérieurs de carbone organique observés au cours de la phase II peuvent être attribuables à la présence de gouttelettes de combustible qui se seraient échappées de la surface et auraient été captées au cours de la phase d'ébullition rapide.

L'épaisseur de la couche de pétrole avait un effet prononcé sur la vitesse de combustion (figure 6). La combustion des nappes de 5 et 10 mm comportait une phase relativement stable de combustion, soit une perte de masse de 5 g/s (0,1 mm/min), qui était suivie d'une phase de combustion rapide avec une perte de masse de 13 à 20 g/s (0,3 à 0,5 mm/min) lorsque l'eau située sous le pétrole se mettait à bouillir. La phase d'ébullition rapide durait jusqu'à environ une minute. La combustion du pétrole en couches de 2 et 3 mm n'avait pas de phase de combustion stable. La production de fumée, ε, fait plus que doubler, de 0,035 à 0,080 g de fumée par g de combustible, à mesure que l'on fait passer l'épaisseur des nappes de 2 à 10 mm (tableau 5). Inversement, la quantité de résidu de pétrole passe de 46 à 17 % (tableau 5).

Analyse

En général, les échantillons prélevés sur les filtres de téflon à basse température avaient des concentrations significativement supérieures de tous les HAP identifiés; il serait logique de penser que ces échantillons représenteraient le plus fidèlement des échantillons prélevés en aval d'une zone de combustion de brut dans l'air ambiant si l'on tient compte du refroidissement de la fumée à mesure qu'elle se dilue dans l'air. L'analyse des particules et de la phase vapeur a permis de montrer que la majorité des HAP à trois noyaux était captée dans la phase vapeur. Il semble se produire une désorption des HAP à trois noyaux fixés sur les particules.

La combustion de brut produisait moins de HAP totaux (somme des quantités mesurées dans le résidu et dans les échantillons sur le filtre et la MPU) qu'il n'y en avait dans le brut qui a servi à la combustion (tableau 6). Environ 90 % des HAP trouvés dans le pétrole et le résidu ont trois noyaux, mais les émissions produites par la combustion (particules et vapeur) comportent des quantités égales de HAP à

Tableau 3 Concentration des HAP (vapeur et particules) obtenue lors de la combustion de pétrole brut soufré de l'Alberta (µg HAP/g de suie[a])

HAP	2 mm, T-07 et PU-07	3 mm, T-09 et PU-09	5 mm, T-12 et PU-12	10 mm, T-05 et PU-05	30 mm, C-5[b] #1
Acénaphthylène	1 740	-	-	-	-
Phénanthrène	1 400	1 610	910	1 820	910
Anthracène	360	400	210	440	260
3-méthylphénanthrène	-	16	30	36	-
2-méthylphénanthrène	-	21	38	40	-
1-méthylphénanthrène	-	12	33	33	-
Fluoranthène	580	770	590	950	700
Acéphénanthrylène	-	410	330	520	380
Pyrène	610	890	680	1 070	900
Benzo[*a*]fluorène	70	-	-	-	-
Benzo[*b*]fluorène	70	-	-	-	-
1-méthylpyrène	56	-	-	-	-
Benz[*a*]anthracène	155	200	160	260	220
Chrysène/triphénylène	78	230	170	260	220
Benzofluoranthènes	-	370	260	430	380
Benzo[*a*]fluoranthène	-	120	81	130	-
Benzo[*b*]fluoranthène	410	-	-	-	-
Benzo[*ghi*]fluoranthène	160	-	-	-	-
Benzo[*e*]pyrène	110	120	90	140	120
Benzo[*a*]pyrène	230	260	190	310	240
Pérylène	56	19	35	5	42
Indéno[1,2,3-*cd*]pyrène	200	180	120	200	190
Benzo[*ghi*]pérylène	120	220	160	250	210
Coronène	250	252	45	192	-
Total HAP	4 670(6 410[c])	6 100	4 130	7 090	4 770

[a] Les incertitudes sont estimées à environ ± 10 % de la concentration indiquée. Les échantillons T-07 et PU-07 ont été analysés à EC, et les échantillons T-09, PU-09, T-12, PU-12, T-05, PU-05 et C-5 #1 ont été analysés au NIST.
[b] Ces résultats proviennent du rapport de 1987 [7] fondé sur un échantillon prélevé à 25 °C durant la phase de combustion stationnaire avant le stade d'ébullition.
[c] La valeur indiquée entre parenthèses comprend l'acénaphthylène.

trois noyaux et de HAP plus lourds (tableau 6). Les HAP à cinq noyaux ou plus, notamment le benzo[*a*]pyrène, étaient 10 à 20 fois plus abondants dans la fumée que dans le combustible d'origine. Les effets nocifs associés à la production en quantité supérieure de HAP carcinogènes comme le benzo[*a*]pyrène doivent être inscrits au débit de la combustion *in situ*; par contre, les avantages de cette méthode sont la réduction des dégâts locaux par combustion de la majeure partie du pétrole déversé, la réduction de la quantité de HAP dans l'eau et la dispersion de la fumée et des HAP sur une superficie nettement supérieure.

Il y avait deux à trois fois moins de HAP totaux émis avec les particules et la phase vapeur, par gramme de combustible, lors de la combustion du pétrole en couche de 2 mm, qu'il n'y en avait lors de la combustion en

Tableau 4 Concentration des HAP dans du pétrole brut soufré de l'Alberta et dans son résidu de combustion (µg HAP/g d'échantillon)[a]

HAP	Pétrole brut «Q»	Pétrole brut «S»	Résidu «D» couche 2 mm	Résidu «Z» couche 5 mm	Résidu «Y» couche 10 mm
Acénaphthylène	13		54	26	
Acénaphthène	57		15	10	
Fluorène	59		47	35	
2-méthylfluorène	150		110	160	
Phénanthrène	150	150	140	130	120
Méthylphénanthrènes	-	370		-	330
Diméthylphénanthrènes	-	500		-	520
Anthracène	11		19	13	
Fluoranthène	6		22	11	
Pyrène	17		30	25	
1-méthylpyrène	39		16	19	
Benzo[*ghi*]fluoranthène	-		1	2	
Chrysène/triphénylène	30		24	34	
Benzo[*b*]fluoranthène	4		7	2	
Benzo[*e*]pyrène	5		6	6	
Benzo[*a*]pyrène	-		4	3	
2-méthylcholanthrène	3		3	3	
Benzo[*ghi*]pérylène	-		2	-	
Total HAP	540	1 020	500	480	970

[a] Échantillons S et Y analysés au NIST; échantillons D, Z et Q analysés à EC.

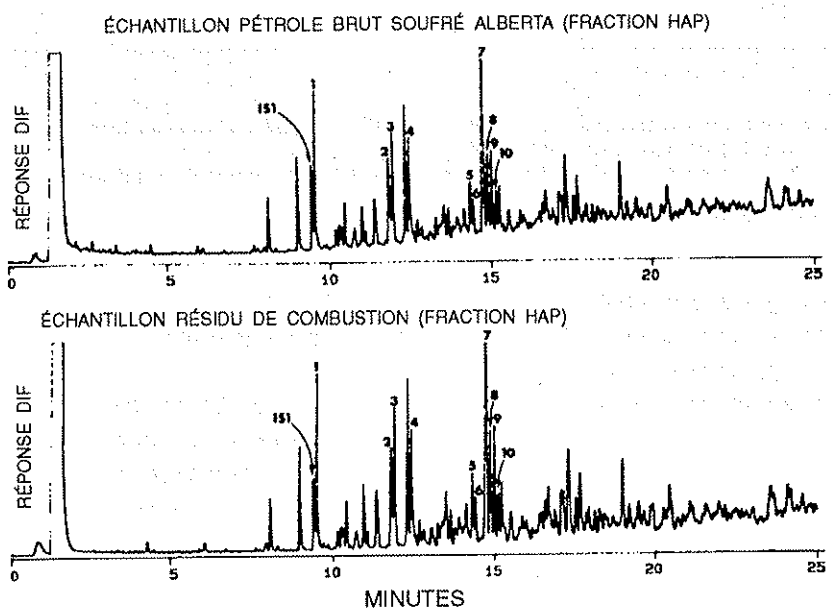
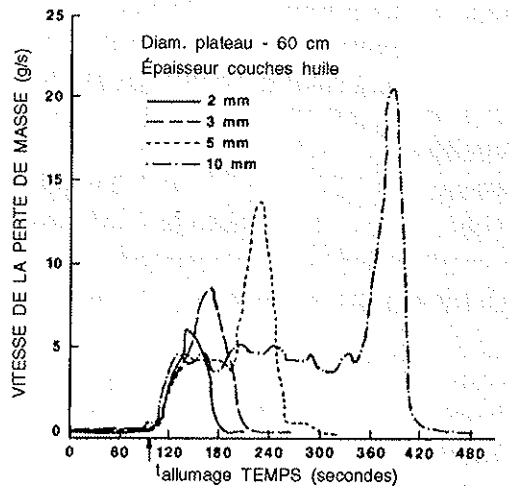


Figure 5
Comparaison des chromatogrammes de phase gazeuse du pétrole brut soufré de l'Alberta et du résidu de combustion. Identification des pointes : (1) phénanthrène; (2)-(4) méthylphénanthrènes; (5)-(10) diméthylphénanthrènes

couche de 10 mm. La quantité moindre de HAP totaux émis par des nappes de faible épaisseur est une fonction de la production relativement moins importante de fumée (tableau 5) dans ces conditions. L'importante émission de vapeur d'eau au cours de la phase d'ébullition peut être la raison des émissions moins importantes de HAP et de fumée observées lors de nos travaux. Dryer[19] a observé au cours d'autres combustions que la présence d'eau réduisait l'émission de particules. Lors de la combustion du pétrole en nappes de 2 et 3 mm d'épaisseur, environ 65 % de la perte de masse s'est produite au cours de la phase d'ébullition, alors qu'avec la nappe de 10 mm, seulement 33 % de la perte de masse s'est produite durant cette phase. La vitesse de combustion était accrue par un facteur de trois durant cette phase (figure 6). Il faudra procéder à des essais avec des nappes d'étendue supérieure si l'on veut parvenir à des prévisions chiffrées de la production de fumée et de l'émission de HAP dans le cadre de scénarios plausibles de combustion.

Figure 6
Effets de l'épaisseur de la nappe d'huile sur la vitesse de la perte de masse (combustible) lors de la combustion de pétrole brut



Pour mettre en perspective les émissions de HAP par combustion du pétrole brut, il est utile de faire la comparaison des résultats présentés ici avec les émissions de HAP des appareils de chauffage au bois. Beaucoup d'études ont été faites sur les émissions de HAP par des appareils de chauffage au bois[20-25] : les résultats varient de 5 à 10 g de HAP/g de bois brûlé jusqu'à 200-400 g de HAP/g de bois brûlé. Les valeurs supérieures sont en corrélation avec l'alimentation réduite en air et l'accroissement de la charge de combustible. Prenons la valeur de 50 g de HAP/g de bois brûlé, ce qui est à peu près huit fois inférieur à la valeur associée au brut, une vitesse de combustion nominale de 4 kg/h ainsi qu'une durée de combustion de 12 h : on peut estimer qu'un appareil de chauffage émet 2,4 g de HAP par jour au total. Cela correspond à la combustion de 7 L (1,8 gallon) de brut dans l'hypothèse que ce dernier dégage 400 g de HAP/g de pétrole brut (tableau 6). Projetons les résultats de ce modèle à une échelle supérieure et nous constatons que les HAP émis lors de la combustion de 100 000 gallons de brut déversé (380 000 L) équivalent à la quantité de HAP émise par 50 000 appareils de chauffage au bois. Le nombre d'appareils mentionnés dans cette

Tableau 5 Effet de l'épaisseur des nappes de pétrole sur l'émission de fumée produite par la combustion de pétrole brut soufré de l'Alberta (plateau de 60 cm de diamètre)

Épaisseur de la nappe (mm)	Vitesse moyenne de combustion (g/s)	Production de fumée (g/g)	Vitesse de combustion		% pétrole brûlé
			Stationnaire (g/s)	pointe (g/s)	
2	2,2	0,035	-	5,1	54
3	3,9	0,050	-	9,0	73
5	5,6	0,080	4,2	0,7	76
10	5,3	0,080	4,2	23,5	83
30[a]	5,1	0,100	-	-	-

[a] Les mesures de la perte de masse et de fumée correspondent à la phase de combustion stationnaire.

Tableau 6 Comparaison de la teneur en HAP du pétrole brut, du résidu du pétrole, de la fumée (vapeur et particules) et du bois, par gramme de combustible brûlé (µg HAP/g de combustible brûlé)

Échantillon/ épaisseur couche	3 noyaux	3 noyaux/ méthylés	4 noyaux/	4 noyaux méthylés	5 noyaux ou plus	5 noyaux ou plus/ méthylés	Total
SOUFRÉ ALBERTA	290	1 020	53	39	9	3	1 440
Résidu							
2 mm	120	470	35	7	10	1	640
3 mm							380[a]
5 mm	50	240	17	5	4	1	320
10 mm							230[a]
Fumée[b]							
2 mm	62(120)[c]	2	69	2	71	-	210(330)
3 mm	100(190)	2	130	3	110	-	350(440)
5 mm	90(230)	8	170	4	120		390(530)
10 mm	180(320)	8	260	4	180	-	630(770)
Bois							
Bouleau[d]	7	2	8	0,2	3	-	20

[a] Les estimations globales qui correspondent aux couches de 3 et 10 mm sont fondées sur les résultats obtenus avec les couches de 2 et 5 mm et sur la mesure de la fraction résiduaire.
[b] Lors du calcul des résultats obtenus pour la fumée, au moyen du tableau 3, les valeurs manquantes des HAP, comme celles du benzo[*a*]fluoranthène dans le cas de la couche de 2 mm d'épaisseur, sont estimées à partir de données apparentées qui figurent au tableau 3 (l'essai de 3 mm dans le cas du benzo[*a*]fluoranthène).
[c] Les valeurs entre parenthèses comprennent l'acénaphthylène.
[d] Voir référence 20.

comparaison est incertain (tout comme le nombre de gallons mentionnés dans le premier membre de la comparaison) parce qu'il existe une très vaste plage de conditions de combustion dans ces appareils de chauffage (notamment la conception de l'appareil, le type de combustible, la charge en combustible et l'alimentation en air); en outre, les émissions de HAP par la combustion du brut peuvent varier selon les conditions de vent et de mer ainsi que l'importance de l'incendie. En outre, il est à noter que l'exposition réelle de personnes aux produits de combustion dépendrait des conditions météorologiques (p. ex., la direction et la vitesse du vent, l'épaisseur de la couche d'inversion, etc.) durant ces épisodes de combustion.

Conclusion

On est parvenu à quantifier la production de fumée, la fraction organique des fumées ainsi que la production de 18 HAP différents par gramme de combustible brûlé en fonction de l'épaisseur des nappes de combustible, qui était un pétrole brut soufré de l'Alberta. Avec la teneur en HAP du pétrole brut et du résidu laissé par la combustion, ces résultats constituent les intrants nécessaires à l'évaluation des répercussions sur le milieu d'une combustion *in situ*. Une analyse de premier ordre indique que les HAP émis lors de la combustion de 100 000 gallons de pétrole déversé (380 000 L) équivaut à la quantité de HAP émis par 50 000 appareils de chauffage au bois qui brûleraient 4 kg de bois à l'heure pendant 12 h. Bien

entendu, afin d'évaluer les effets sous le vent de la fumée, on doit disposer d'un modèle quantitatif de dispersion et de dépôt de la fumée.

En assurant la combustion de la majeure partie du pétrole déversé et, par conséquent, en réduisant la quantité de HAP dans l'eau et en dispersant les produits de combustion sur une superficie supérieure, la combustion *in situ* peut contribuer à atténuer les répercussions sur le milieu d'un déversement de pétrole. Au bilan, le recours à cette technique peut avoir des conséquences moins dommageables pour le milieu que celles, plus intenses et moins étendues, infligées à des écosystèmes marins et côtiers lors des déversements de pétrole. Il semble exister un certain nombre de conditions, comme la présence de champs de glace dans l'Arctique, où la combustion *in situ* serait réalisable et pourrait constituer la méthode préférable de nettoyage.

Remerciements

Nous tenons à remercier particulièrement MM. Ed Tennyson et John Gregory du *Minerals Management Service (U.S. Department of the Interior)* qui ont organisé ce programme de recherche et ont été consultés au cours de sa mise en application.

Références

1. Crude Petroleum and Natural Gas - Wells Drilled, Footage and Drilling Cost, *Statistical Abstract of the United States*, 108, 663 (1988).
2. Crude Petroleum and Natural Gas - Wells Drilled, Footage and Drilling Cost, *Statistical Abstract of the United States*, 101, 767 (1980).
3. Thompson, C.H., Dawson, G.W. et J.L. Goodier, *Combustion: An Oil Spill Mitigation Tool*, rapport final, Battelle Memorial Inst., PNL-2929 (1979).
4. Twardus, E.M. et T.A. Brzustowski, *Archivum Combustionis*, 1, 49-60 (1981).
5. Petty, S.E., *Fire Safety Journal*, 5, 123-134 (1983).
6. Evans, D., Baum, H., McCaffrey, B., Mulholland, G., Harkleroad, M. et W. Manders, *Combustion of Oil on Water*, NBSIR 86-3420 (1986).
7. Evans, D.D., Mulholland, G.W., Gross, D., Baum, H. et K. Saito, *Environmental Effects of Oil Spill Combustion*, NISTIR 88-3822 (1988).
8. Mackay, D., Buist, I., Mascarenhas, R. et S. Paterson, *Oil Spill Processes and Models*, EE-9, Environnement Canada (1980).
9. Bentz, A.P., Oil spill Identification and Remote Sensing, in: *Petroleum in the Marine Environment*, Petrakis, L., and F.T. Weiss (eds.), American Chemical Society, Advances in Chemistry Series 185, Washington DC, 55-86 (1980).
10. Wadhams, P., Oil and Ice in the Beaufort Sea - The Physical Effects of a Hypothetical Blowout, in: *Petroleum and the Marine Environment*, Graham and Trotman Limited, London, 299-318 (1981).
11. S.L.Ross, The Development of Countermeasures for Oil Spills in Canadian Arctic Waters, in: *Petroleum and the Marine Environment*, Graham and Trotman Limited, London, 377-399 (1981).
12. Day, T., Mackay, D., Nadeau, S. et R. Thurier, *Water, Air and Soil Pollution*, 11, 139-152 (1979).
13. Amdur, M.O., Air Pollutants, in: *Toxicology, the Basic Science of Poisons*, Klaassen, C.D., M.O. Amdur and J. Doull (eds.), Macmillan Publishing Company, New York, 801-824 (1986).
14. E.E. Sandmeyer, Aromatic Hydrocarbons, in: *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, Clayton, G.D. and G.E. Clayton (eds.), Wiley and Sons, New York, 3345-3383 (1981).
15. E. Boyland, The Toxicology of Soot, in: *Soot in Combustion Systems*, Lahaye, J. and G. Prado, (eds.), Plenum Press, New York, 13-24 (1983).
16. Williams, G.M. et J.H. Weisburger, Chemical Carcinogens, in: *Toxixology, the Basic Science of Poisons*, Klaassen, C.D., M.O. Amdur and J. Doull (eds.), Macmillan Publishing Company, New York, 99-173 (1986).

17. Kline, W.F., Wise, S.A. et W.E. May, Journal of Liquid Chromatography, 8, 223-227 (1985).

18. Johnson, R.L., Shah, J.J., Cary, R.A. et J.J. Huntzicker, *Atmospheric Aerosol: Source/Air Quality Relationships*, ACS Symposium Series, No. 167 (1981).

19. Dryer, F.L., Water Addition to Practical Combustion Systems -- Concepts and Applications, *Sixteenth Symposium (International) on Combustion*, The Combustion Institute, Pittsburgh, 279-298 (1976).

20. Ramdahl, T., Alfheim, I., Rustad, S. et T. Olsen, *Chemosphere*, 11, 601-611 (1982).

21. J.A. Peters, POM Emission from Residential Wood Burning: An Environmental Assessment, in: *Residential Solid Fuels: Environmental Impacts and Solutions*, Cooper, J.A., and D. Malek (eds.), Oregon Graduate Centre, Beaverton, Oregon, 267-288 (1981).

22. Tennessee Valley Authority, Division of Energy Conservation and Rates, *Residential Wood Heater Test Report, Phase II (1981-1983)*, Vol. I, 169 (1983).

23. Rudling, L. et B. Ahling, Chemical and Biological Characterization of Emissions from Combustion of Wood and Wood-chips in Small Furnaces and Stoves, in: *Residential Solid Fuels: Environmental Impacts and Solutions*, Cooper, J.A. and D. Malek (eds.), Oregon Graduate Centre, Beaverton, Oregon, 79-138 (1981).

24. Hubble, B.R., Stetter, J.R., Gebert, E., Harkness, J.B.L. et R.D. Flotard, Experimental Measurements of Emissions from Residential Wood-burning Stoves, in: *Residential Solid Fuels: Environmental Impacts and Solutions*, Cooper, J.A. and D. Malek (eds.), Oregon Graduate Centre, Beaverton, Oregon, 79-138 (1981).

25. Cooke, W.M. et J.M. Allen, Characterization of Emissions from Residential Wood Combustion Sources, in: *Residential Solid Fuels: Environmenal Impacts and Solutions*, Cooper, J.A. and D. Malek (eds.), Oregon Graduate Centre, Beaverton, Oregon, 139-163 (1981).

NOTE : Il est fait état de certains matériaux et équipements dans le présent rapport afin de décrire adéquatement le protocole d'expérience. Cela ne signifie pas que le NIST ou EC recommandent ou approuvent l'utilisation de ces matériaux et équipements; cela ne signifie pas non plus que ces derniers sont nécessairement les meilleurs qui soient disponibles à nos fins.

Ces travaux ont été subventionnés par le *Minerals Management Service, U.S. Department of the Interior.*

M. M.F. Fingas
Rédacteur technique
Division des urgences/science
Direction du développement technologique
Environnement Canada
Conservation et Protection
Laboratoires de River Road
Ottawa (Ontario)
KIA 0H3
Téléphone : (6I3) 998-9622

Danièle Tittley
Éditeur
Direction du développement technologique
Environnement Canada
Conservation et Protection
Ottawa (Ontario)
KIA 0H3
Téléphone : (819) 953-9366

Le Bulletin de la lutte contre les déversements a été publié pour la première fois en I976. De caractère modeste, il avait pour but de permettre un échange de renseignements sur les mesures d'intervention en cas de déversements ainsi que sur d'autres sujets connexes. Le bulletin compte maintenant au-delà de 2 000 abonnés et il est diffusé dans plus de 40 pays.

Pour que le bulletin élargisse la portée de son contenu et qu'il renseigne davantage sur ce qui se fait dans l'industrie et à l'étranger dans le domaine de la lutte contre les déversements et de leur prévention, nous invitons les lecteurs à soumettre des articles sur leurs travaux et leurs opinions dans ce domaine.