

Brûlage in-situ contrôlé des hydrocarbures issus d'un déversement

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en
matière de gestion des accidents et de personnel
d'intervention d'urgence



IPIECA

Association Internationale de l'industrie pétrolière pour la Protection de l'Environnement

Level 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 7633 2388 Télécopieur : +44 (0)20 7633 2389
E-mail : info@ipieca.org Internet: www.ipieca.org



Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz (IOGP)

Bureau de Londres

Level 14, City Tower, 40 Basinghall Street, London EC2V 5DE, Royaume-Uni
Téléphone : +44 (0)20 7633 0272 Télécopieur : +44 (0)20 7633 2350
E-mail : reception@iogp.org Internet : www.iogp.org

Bureau de Bruxelles

Boulevard du Souverain 165, 4^e étage, B-1160 Bruxelles, Belgique
Téléphone : +32 (0)2 566 9150 Télécopieur : +32 (0)2 566 9159
E-mail : reception@iogp.org Internet: www.iogp.org

Rapport de l'IOGP n°523

Date de publication : 2016

© IPIECA-IOGP 2016 Tous droits réservés.

Aucune partie de cette publication ne saurait être reproduite, stockée dans un système d'extraction ou transmise sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit, électronique, mécanique, photocopie, par enregistrement ou autre, sans le consentement écrit préalable de l'IPIECA.

Exonération de responsabilité

Bien que tous les efforts possibles aient été fournis pour assurer l'exactitude des informations contenues dans cette publication, ni l'IPIECA, ni l'IOGP, ni aucun de leurs membres passés, présents ou futurs ne garantissent leur exactitude ou n'assument la responsabilité d'une quelconque utilisation prévisible ou imprévisible de cette publication, même en cas de négligence de leur part. Par conséquent, ladite utilisation se fait aux risques et périls du destinataire, avec la convention que toute utilisation par le destinataire constitue un accord avec les conditions de cet avertissement. Les informations contenues dans cette publication ne prétendent pas constituer des conseils professionnels de différents contributeurs de contenu, et ni IPIECA, ni l'IOGP ni ses membres n'acceptent quelque responsabilité que ce soit pour les conséquences de l'utilisation ou la mauvaise utilisation de la présente documentation. Ce document peut fournir des indications qui viennent compléter les exigences de la législation locale. Cependant, rien dans les présentes n'est destiné à remplacer, modifier, abroger ou autrement déroger à ces exigences. En cas de conflit ou de contradiction entre les dispositions de ce document et la législation locale, les lois applicables prévaudront.

Brûlage in-situ contrôlé des hydrocarbures issus d'un déversement

Lignes directrices relatives aux bonnes pratiques en matière de gestion des accidents et de personnel d'intervention d'urgence

Préface

Cette publication fait partie de la série des Guides des bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, qui résume les opinions actuelles en matière de bonnes pratiques sur des sujets variés relatifs à la préparation et la lutte contre les déversements d'hydrocarbures. Cette série vise à aligner les pratiques et les activités du secteur, à informer les parties prenantes et à servir comme outil de communication pour promouvoir la sensibilisation et l'éducation.

Elle met à jour et remplace la célèbre « Oil Spill Report Series » de l'IPIECA, publiée entre 1990 et 2008. La série de guides couvre des sujets qui sont applicables aux activités d'exploration comme de production, ainsi qu'aux activités de transport maritime ou terrestre.

Les révisions sont entreprises dans le cadre du Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (le JIP, « Oil Spill Response Joint Industry Project »). Le JIP a été créé en 2011 pour mettre en œuvre des occasions d'apprentissage en matière de la préparation et la lutte contre les déversements d'hydrocarbures, suite à l'accident de contrôle de puits d'avril 2010 dans le golfe du Mexique.

Les rapports IPIECA de la série d'origine seront progressivement retirés à mesure de la publication des différents titres de cette nouvelle série du Guide des bonnes pratiques au cours des années 2014–2015.

Remarque sur les bonnes pratiques

Les « Bonnes pratiques » dans le contexte du JIP sont l'énoncé de directives, de pratiques et de procédures internationalement reconnues qui permettront à l'industrie du pétrole et du gaz d'assurer des performances acceptables en matière de santé, de sécurité et d'environnement.

Les bonnes pratiques pour un sujet particulier changeront au fil du temps à la lumière des progrès de la technologie, de l'expérience pratique et des connaissances scientifiques, ainsi que des changements dans l'environnement politique et social.

Table des matières

Préface	2	<i>Le suivi des opérations d'ISB</i>	25
Introduction	4	<i>La finalisation des opérations et le nettoyage du site</i>	25
Présentation de l'ISB	6	Les opérations post-brûlage	25
La réaction de combustion	6	<i>Les rapports de synthèse opérationnels</i>	25
Les conditions nécessaires à l'ignition et à la combustion	8	<i>La stabilisation d'urgence</i>	26
Le processus de décision en matière d'ISB	9	<i>Les observations post-brûlage et le suivi du rétablissement</i>	26
Le processus de décision et l'analyse des bénéfices écologiques en fonction de options de luttes envisagées	9	<i>La réhabilitation</i>	26
Les procédures d'autorisations	10	Les résidus de brûlage	27
Les enjeux sanitaires et environnementaux	10	Les équipements nécessaires pour l'ISB	29
La faisabilité opérationnelle des opérations d'ISB	12	Les dispositifs de mise à feu (igniteurs)	29
<i>Le comportement et les propriétés des hydrocarbures</i>	12	<i>Les igniteurs hélicoptés</i>	29
<i>Les hydrocarbures émulsionnés et lourds</i>	13	<i>Les igniteurs portatifs et les moyens mobiles de mise à feu</i>	29
<i>Les agents de traitement</i>	13	<i>Les igniteurs non-commercialisés</i>	30
<i>L'influence des conditions environnementales</i>	14	Les barrages résistants au feu	32
L'utilisation de l'ISB	16	Les barrages flottants conventionnels	33
Les déversements terrestre	16	Les navires de soutien aux opérations d'ISB sur l'eau	33
Les déversements maritime	17	Le soutien aux opérations d'ISB par voie aérienne	33
<i>Les zones côtières et littorales</i>	17	Le suivi opérationnel en matière de sécurité et de maîtrise des opérations d'ISB	34
<i>Les nappes non-confinées sur l'eau</i>	18	L'exposition de le personnel de lutte à la chaleur	34
Les risques et considérations opérationnelles	18	Le comportement et la dispersion des émissions issues d'ISB	34
<i>Contrôle des fumées (gestion des fumées)</i>	18	<i>Les particules fines</i>	35
<i>Le biote</i>	19	<i>Les distances de sécurité</i>	36
<i>L'augmentation de la température des sols</i>	19	<i>Le suivi et l'échantillonnage des émissions</i>	36
<i>Les conditions météorologiques</i>	20	<i>Le suivi opérationnel</i>	38
La planification d'une opération d'ISB	21	Bibliographie	39
<i>L'équipement, les navires et les véhicules de l'équipe dédiée au brûlage</i>	21	Annexe 1 : Estimation de la quantité d'hydrocarbures brûlés et de l'efficacité du brûlage	42
<i>La gestion des fumées</i>	21	Annexe 2 : Déploiement des barrages flottants et configurations de remorquage	44
<i>Les procédures d'évacuation et la mise en place de zones de sécurité</i>	22	Le déploiement des barrages dans le cadre des opérations d'ISB	44
<i>Coupe-feu</i>	22	Les configurations de remorquage des barrages résistants au feu	45
<i>La maîtrise de l'incendie</i>	23	Remerciements	47
<i>Le plan de mise à feu</i>	24		
La mise en œuvre du brûlage	24		
<i>Le briefing de sécurité préalable aux opérations d'ISB</i>	24		
<i>La mise à feu</i>	24		

Introduction

Le brûlage *in situ* (ISB) consiste en la combustion ou le brûlage contrôlé des vapeurs d'un hydrocarbure déversé, sur le lieu du déversement. L'ISB est en mesure d'éliminer rapidement les hydrocarbures de la surface de la terre, de la mer ou de la glace, pour le transformer principalement en dioxyde de carbone et en eau. L'ISB permet de réduire rapidement la quantité d'hydrocarbure déversé, et par conséquent de réduire de manière significative la nécessité de collecter, stocker, transporter et éliminer l'hydrocarbure récupéré. L'ISB permet également de réduire la durée totale d'intervention, favorisant ainsi le rétablissement de l'environnement. Le présent guide contient des informations sur le brûlage *in situ* dans le cadre de la lutte contre un déversement d'hydrocarbures ainsi qu'une analyse scientifique du processus de brûlage et ses effets. Il fournit en outre des informations pratiques sur les procédures et les équipements nécessaires dans le cadre des opérations d'ISB.

L'ISB constitue une méthode d'intervention non mécanique à l'instar, par exemple, de l'application de dispersants d'hydrocarbure déversé. Cependant, plutôt que d'utiliser des agents chimiques pour éliminer l'hydrocarbure déversé, l'hydrocarbure est ici traité par une combustion de ses vapeurs. La meilleure stratégie de lutte contre un déversement consistera vraisemblablement à conjuguer toutes les méthodes d'intervention disponibles. Lors de l'intégration des différentes techniques de nettoyage, il conviendra d'identifier la combinaison optimale de matériel, de personnel et de techniques permettant de protéger l'environnement et de réduire les impacts potentiels.

- L'ISB pourra être mis en œuvre afin d'éliminer un hydrocarbure déversé sur des surfaces solides, sur terre, sur la glace et la neige sur le continent, sur des surfaces enneigées ou de glace sur l'eau, sur la banquise ou sur l'eau.
- En cas de déversement sur l'eau, l'ISB pourra être mis en œuvre au large des côtes (dans les eaux intérieures ou au large).
- Les opérations de brûlage pourront être répétées tant qu'il restera suffisamment d'hydrocarbures.
- L'ISB sera utilisé en combinaison avec d'autres techniques afin de s'attaquer à différentes parties d'une nappe.

L'ignition des hydrocarbures volatils ne posera pas de problème, alors que les hydrocarbures plus lourds nécessiteront souvent l'utilisation d'un activateur ou d'un igniteur, comme un hydrocarbure léger, afin d'enflammer les vapeurs d'hydrocarbures. Dans le cas où une quantité insuffisante de vapeurs serait produite, le feu ne prendra pas ou s'éteindra rapidement. La quantité de vapeurs produites dépend de la quantité de chaleur renvoyée vers la nappe, ce qui favorise l'évaporation. Dans le cas où la nappe d'hydrocarbures serait trop fine, une partie de la chaleur pourrait traverser la nappe et se propager dans la couche d'eau située en-dessous. Si la température de la nappe n'est pas suffisamment bien entretenue, le taux d'évaporation et donc la concentration en vapeurs d'hydrocarbures diminueront, pour finalement atteindre des concentrations trop faibles, empêchant ainsi le maintien de la combustion. Un hydrocarbure fortement émulsionné dans l'eau pourra être brûlé seulement si la chaleur produite est suffisante pour permettre l'élimination de l'eau et la libération des vapeurs d'hydrocarbures. Le confinement des hydrocarbures sur la surface de l'eau pourrait s'avérer nécessaire dans le cadre des opérations d'ISB, dans la mesure où une nappe d'hydrocarbures doit être assez épaisse pour permettre l'allumage et le maintien de sa combustion. En cours de brûlage, la chaleur renvoyée vers la nappe sera en principe suffisante pour permettre la combustion d'une nappe d'une épaisseur d'environ 0,5 – 1 mm. La vitesse de combustion de l'hydrocarbure dépend largement du type d'hydrocarbure et de son degré de vieillissement.

L'ISB s'est avéré très efficace dans une grande variété d'habitats. Des opérations d'ISB ont aussi été réalisées sur terre comme par exemple dans des marais souillés, ou des brûlages de végétation ou de toundra souillés. Des ISB ont également été menés à bien sur la glace ou dans les eaux infestées de glaces. Des ISB ont en outre été réalisés au large, dans les eaux côtières, dans des baies abritées et des rivières. Alors que les principes fondamentaux applicables à toutes les opérations d'ISB demeurent les mêmes, les stratégies différeront en fonction des spécificités des habitats et des circonstances du déversement. Par exemple :

- Dans le cadre d'un ISB sur terre, des bulldozers ou autres engins de chantier pourront être utilisés pour confiner et épaissir l'hydrocarbure déversé. Des trancheuses pourront également être utilisées afin de creuser des tranchées dans lesquelles les hydrocarbures pourront être collectés afin de favoriser l'ignition ;
- Dans le cadre d'un ISB sur la neige ou la glace, aucune mesure de confinement supplémentaire ne sera nécessaire dans la mesure où la neige/la glace pourront faire office de barrière naturelle ;
- Des chenaux ouverts dans la glace pourraient permettre de créer des poches plus épaisses d'hydrocarbures et favoriser le confinement des hydrocarbures au cours de la combustion.
- Les ISB sur l'eau mettent en jeu des navires remorquant des barrages anti-feu à vitesses moyennes afin d'aller à la rencontre de nouvelles nappes d'hydrocarbure et de les concentrer.

Le brûlage des hydrocarbures sur terre ou dans les zones humides constitue une technique pouvant réduire l'impact environnemental d'un déversement. Le brûlage de la végétation constitue une méthode fréquente de protection et de conservation de certains écosystèmes. Les facteurs les plus importants en matière de brûlage sont le niveau de l'eau dans les zones humides et la teneur en humidité du sol. Le brûlage réalisé de manière appropriée n'affectera pas les racines si bien que la restauration sera rapide.

L'expérience a montré que les brûlages peuvent être menés tout en garantissant le personnel de lutte, du public et de l'environnement. Les distances de sécurité permettent de prévenir toute exposition à des niveaux élevés de chaleur générée par le brûlage. Des barrières coupe-feu sont mises en place afin d'éviter la propagation du feu à d'autres sites.

Les principaux avantages et inconvénients de l'ISB sont synthétisés dans le tableau 1. L'avantage majeur de cette technique est sa capacité à éliminer rapidement des quantités importantes d'hydrocarbure. L'inconvénient le plus manifeste réside dans la production de panaches de fumées noires, suscitant l'inquiétude du public sur les menaces générées par les émissions et l'impact visuel.

Tableau 1 *Avantages et inconvénients de l'ISB*

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> ● Une élimination rapide de l'hydrocarbure ● Des besoins limités en termes d'équipements ● Une grande efficacité ● De quantités de déchets d'hydrocarbures à éliminer réduites ● Une mise en œuvre possible sur la plupart des habitats et avec la majorité des hydrocarbures 	<ul style="list-style-type: none"> ● Des panaches de fumée noire (inquiétudes quant aux risques générés par les émissions et l'impact visuel) ● Des risques de propagation ou de perte de contrôle du feu ● Les résidus devront éventuellement être collectés

L'ISB pourrait permettre d'éliminer des quantités importantes d'hydrocarbures déversés. Ceci pourrait empêcher l'hydrocarbure d'atteindre d'autres zones et donc réduire le risque de contamination d'autres habitats, notamment les habitats côtiers dans le cadre de déversements offshore. En outre, l'ISB pourra être mis en œuvre sur des sites isolés où d'autres techniques ne peuvent être appliquées en raison de difficultés d'accès ou en l'absence d'infrastructures, notamment sur la glace.

Les brûlages produisent des particules fines (suies). Les particules fines au niveau du sol constituent un risque pour la santé, notamment à proximité du feu ou dans la zone du panache. Les concentrations des émissions durant un ISB ont fait l'objet d'études poussées et ont été enregistrées à des niveaux inférieurs à ceux présentant un risque pour la santé humaine.

Présentation de l'ISB

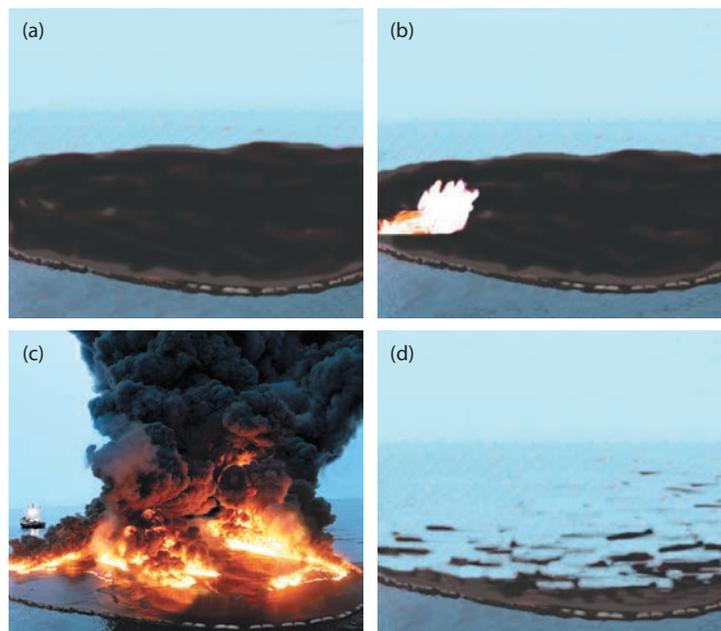
La réaction de combustion

Les principes fondamentaux relatifs aux opérations d'ISB sont similaires à ceux relatifs au feu, en somme, un produit inflammable, de l'oxygène et de la chaleur (énergie d'activation) sont nécessaires à l'ignition de l'hydrocarbure. Dans le cas d'un déversement d'hydrocarbures, les vapeurs d'hydrocarbures correspondent au produit inflammable nécessaire à la combustion. Les hydrocarbures frais s'enflammeront en principe dès l'application d'une source de mise à feu. Parallèlement à la combustion des vapeurs d'hydrocarbures, la chaleur générera des quantités plus importantes de vapeurs, ce phénomène étant nommé « évaporation ». Le processus d'évaporation des hydrocarbures devra être suffisamment efficace pour maintenir une combustion stable. Les vitesses d'évaporation et de combustion devront être comparables. La vitesse de combustion pourrait être limitée par la quantité d'oxygène disponible et la quantité de chaleur renvoyée vers l'hydrocarbure. La vitesse de combustion dépendra également du type d'hydrocarbure et de son degré de vieillissement, et donc de sa propension à s'évaporer. En l'absence d'une quantité suffisante de vapeurs, l'hydrocarbure ne s'enflammera pas ou s'éteindra rapidement s'il s'est mis à feu. La quantité de vapeurs produites dépend de la quantité de chaleur renvoyée vers l'hydrocarbure, soit environ 2 – 3 % de la chaleur produite. Les hydrocarbures bruts frais devront présenter une épaisseur d'au moins 1 mm pour générer une quantité suffisante de vapeurs permettant la mise à feu sur l'eau, alors que les hydrocarbures qui sont significativement vieillis devront présenter une épaisseur de 2 à 5 mm. Les carburants lourds devront être confinés pour avoir une épaisseur d'environ 10 mm avant de pouvoir s'enflammer. Une fois la nappe mise à feu, la chaleur renvoyée vers celle-ci sera en principe suffisante pour permettre le maintien du brûlage jusqu'à ce que l'épaisseur de la nappe atteigne 2 – 3 mm. Au fur et à mesure de la diminution de son épaisseur, la nappe perd son isolation et une quantité plus importante de chaleur transmise à la matière située en-dessous (par ex. la terre ou l'eau). La température de la nappe peut alors devenir insuffisante pour maintenir le taux d'évaporation nécessaire à la combustion.

Les recherches ont montré qu'en théorie tous les hydrocarbures brûleront à condition que la nappe soit assez épaisse. Les barrages flottants permettant le confinement des hydrocarbures et les autres méthodes de confinement sont souvent utilisées pour augmenter ou maintenir l'épaisseur d'une nappe au niveau nécessaire pour le brûlage.

Les concepts fondamentaux en matière de brûlage *in-situ* sont illustrés par les photographies ci-dessous et synthétisés dans le tableau 2 de la page 7.

- (a) Hydrocarbures collectés et confinés par un barrage résistant au feu ou dans une zone isolée.
- (b) Une flamme d'ignition appliquée aux hydrocarbures génère des vapeurs qui s'enflament.
- (c) La flamme s'étend sur la nappe et brûle les hydrocarbures jusqu'à 1 mm d'épaisseur.
- (d) Lorsque la quantité de vapeur est insuffisante pour maintenir la combustion, le feu s'éteint.



Elastec Inc.

Tableau 2 Les principales questions et réponses sur le brûlage in-situ

Questions	Réponses
Qu'est-ce qui brûle ?	Les vapeurs d'hydrocarbures de l'hydrocarbure déversé.
Quel est le mécanisme de la combustion ?	La chaleur permet l'évaporation de vapeurs nécessaire à la mise à feu, et si la concentration en vapeur est assez importante, le brûlage pourra se poursuivre.
Quelle quantité de chaleur sera renvoyée vers les couches inférieures ?	Seulement environ 2 % de la chaleur produite sera renvoyée vers les couches inférieures et se dissipera rapidement dans les eaux de surface ou les sols saturés en eau.
Quelle devra être l'épaisseur minimale d'une nappe pour qu'elle brûle ?	Ceci dépend de l'hydrocarbure, cependant, il est préférable que l'épaisseur soit supérieure à 2–4 mm afin que la combustion puisse être constante.
Quelle est le scénario type d'un brûlage ?	Une fois l'hydrocarbure enflammé, le brûlage progressera dans le sens du vent sur la nappe et en réduira l'épaisseur jusqu'à environ 1 mm avant de s'éteindre.
Quelle est son efficacité en termes d'élimination des hydrocarbures ?	Ceci dépend de l'épaisseur initiale de la nappe ; jusqu'à plus de 90 % de l'hydrocarbure peut être éliminé.
Quelle est la vitesse moyenne d'élimination de l'hydrocarbure ?	Une épaisseur d'1 à 4 mm par minute peut être éliminée sur une retenue d'hydrocarbures (couche épaisse).
Quelle est la vitesse moyenne d'élimination du volume d'hydrocarbure ?	Entre 2 000 et 5 000 litres par m ² d'hydrocarbure et par jour peuvent éliminés. Pour les nappes confinées sur l'eau, un brûlage opérant à une vitesse moyenne permettra d'éliminer ~150 m ² d'hydrocarbure déversé en une heure.
À quelle vitesse une flamme pourrait-elle se propager ?	Les flammes se déplaceront rapidement sur les hydrocarbures volatiles (0,1–0,2 m/s). Elles peuvent se propager deux fois plus vite en cas de vent, et approcher des vitesses d'environ 100 km/heure.
Quelle hauteur les flammes peuvent-elles atteindre ?	En règle générale, environ 1,5 x le diamètre de la flamme.
Quel est le potentiel de formation de suies ?	Il sera le plus élevé lorsque la vitesse d'évaporation sera supérieure à la vitesse de brûlage (combustion incomplète en raison d'un apport limité en O ₂).

Les hydrocarbures vieilliss ou émulsionnés peuvent être difficiles à mettre à feu, dans la mesure où une quantité plus importante d'énergie est nécessaire pour éliminer l'eau avant de pouvoir chauffer l'hydrocarbure. L'ajout d'un activateur (par exemple du carburant diesel) ou d'un igniteur pourrait être nécessaire pour favoriser la mise à feu. Les nappes contenues par des barrages flottants comprenant à la fois des hydrocarbures non-émulsifiés et des hydrocarbures émulsifiés peuvent être brûlées en mettant d'abord feu à la partie non émulsifiée. La chaleur produite par le brûlage de l'hydrocarbure non émulsifié provoquera la libération de l'eau de l'hydrocarbure émulsifié. Les vapeurs d'hydrocarbures pourraient être suffisantes pour permettre la mise à feu. Une fois enflammées, la plupart des émulsions continueront de brûler. La photographie de droite montre la progression d'un brûlage se propageant de l'hydrocarbure non émulsifié vers l'hydrocarbure émulsifié (couleur rouge). Ceci pourrait permettre le brûlage simultané des deux hydrocarbures.



Elastec Inc.

Brûlage d'un hydrocarbure non-émulsionné et émulsionné.



Elastec Inc.

Une combustion incomplète laissera des résidus derrière elle après l’extinction du feu. Il s’agit de résidus de brûlage. Les résidus pourront prendre la forme de matériaux friables, de matériaux rigides ayant l’aspect du caramel ou bien même d’un liquide semblable à l’hydrocarbure initial. Les brûlages les plus efficaces d’hydrocarbures bruts lourds peuvent entraîner la formation de résidus denses qui couleront dans la colonne d’eau. Les faibles quantités de résidus présents après des opérations d’ISB sur l’eau (voir la photographie) représentent en moyenne < 0,1 % de la quantité d’hydrocarbure brûlée.

Un exemple de résidu produit par un brûlage particulièrement efficace de plusieurs heures en mer.

Les conditions nécessaires à l’ignition et à la combustion

En général, la plupart des hydrocarbures sur l’eau brûleront si la nappe présente une épaisseur de 2 à 4 mm. Sur terre ou dans les zones humides, la situation est la même, bien qu’un hydrocarbure présentant une épaisseur d’1 mm ou moins pourra être brûlé de manière continue grâce à la chaleur produite par le brûlage des végétaux. Les hydrocarbures lourds ne nécessitent qu’une faible quantité d’amorce (activateur ou igniteur), tel que le carburant diesel, pour s’enflammer. L’activateur ou l’igniteur sera seulement appliqué à quelques points de la nappe situés près de ou sur la partie la plus épaisse. La mise à feu de l’activateur ou de l’igniteur chauffera l’hydrocarbure sous-jacent et augmentera sa vitesse d’évaporation ainsi que son potentiel de mise à feu. Une fois enflammés, les hydrocarbures lourds brûleront de manière continue et même les hydrocarbures émulsionnés pourront se séparer et brûler. Le tableau 3 présente les caractéristiques de mise à feu des divers hydrocarbures. Ces propriétés sont exprimées indépendamment du lieu du déversement, sur terre ou en mer.

Tableau 3 Propriétés de brûlage des différents hydrocarbures

Hydrocarbure	Potentiel de combustion ^a	Facilité de mise à feu	Vitesse de propagation de la flamme	Vitesse de brûlage ^b (mm/min)	Production de suies ^c	Efficacité ^d (%)
Gasoil	très élevée	très facile	très rapide	4	moyenne	95–99
Carburant diesel	élevée	facile	modérée	3,5	très élevée	90–98
Brut léger	élevée	facile	de modérée à rapide	3,5	élevée	85–98
Brut moyen	modérée	facile	modérée	3,5	moyenne	80–95
Brut lourd	modérée	moyenne	modérée	3	moyenne	75–90
Viellie	modérée	ajouter un igniteur	lente	2,5 à 3	basse	60–90
Hydrocarbure brut avec glace	modérée	difficile, ajouter un activateur	lente	2	moyenne	50–90
Fioul léger	modérée	difficile, ajouter un activateur	lente	2,5	basse	50–80
Mazout lourd	modérée	ajouter un igniteur	lenta	2 à 3	basse	60–90
Bitume dilué (dilbit)	modérée	facile, si frais	modérée	2 à 3	moyenne	40–60
Dilbit vieilli	modérée	ajouter un igniteur	lente	2 à 3	moyenne	50–70
Hydrocarbure émulsionné	basse	ajouter un igniteur	lente	2 à 3	basse	30–70
Bitume	basse	ajouter un igniteur	lente	2 à 3	basse	30–50
Résidus d’hydrocarbures	très basse	ajouter un igniteur	lente	1 à 2	moyenne	15–50

(a) Le potentiel de combustion exprime de manière générale la facilité de mise à feu, le maintien de la combustion, et son efficacité en termes d’élimination de l’hydrocarbure. (b) Vitesses moyennes seulement. Afin de convertir la vitesse en litres/m²/heure multipliez par 60. (c) Une caractéristique reflétant le taux de combustion et la quantité de suies dans le panache du fumée (ce qui caractérise l’opacité du panache de fumée). (d) L’efficacité d’un brûlage est ici estimée sur le fondement de données historiques sur les quantités de résidus générées.

Le processus de décision en matière d'ISB

Lorsqu'un hydrocarbure est déversé, il convient de collecter des informations sur les différents facteurs qui auront un impact sur la décision de procéder ou non à un brûlage *in-situ*. De tels facteurs incluent les exigences réglementaires, la sécurité, les propriétés de l'hydrocarbure, les conditions environnementales et météorologiques, les ressources et la localisation. Les principaux facteurs sont répertoriés dans le Tableau 4.

Tableau 4 Les critères de sélection du brûlage comme méthode de lutte contre le déversement

Pertinence	Faisabilité
Le lieu est-il approprié au brûlage ? <ul style="list-style-type: none"> Distance par rapport aux zones habitées Distance par rapport à d'autres sources de combustibles Distance entre la trajectoire du panache de fumée et les zones résidentielles 	L'hydrocarbure a-t-il un potentiel de brûlage ? <ul style="list-style-type: none"> L'hydrocarbure peut être allumé (< 25–30 % évaporé) La nappe d'hydrocarbures fait plus de 2–3 mm d'épaisseur L'émulsion contient <20 – 25 % eau
Le brûlage est-il possible, peut-il être réalisé en toute sécurité ?	Quelles sont les conditions météorologiques ? <ul style="list-style-type: none"> Vents <18 nœuds requis pour la mise à feu / < 20 nœuds requis pour le maintien de la combustion Si des barrages flottants sont nécessaires, la hauteur des vagues est-elle inférieure à 1 m ?
Dispositions légales et réglementaires <ul style="list-style-type: none"> Des autorisations seront-elles nécessaires ? Les conditions réglementaires peuvent-elles être remplies ? 	Les équipements sont-ils disponibles ?
Quels sont les résultats de l'analyse des bénéfices écologiques et économiques en fonction des options de lutttes envisagées (NEBA) – le brûlage constitue-t-il la meilleure méthode dans le cas présent ?	

Une analyse de faisabilité de l'ISB inclura généralement une évaluation de l'emplacement géographique et des interdictions en vigueur. Par exemple, les autorisations requises pourront être refusées lorsque le site d'ISB se situe à proximité :

- de logements ; et
- de sites industriels présentant un risque d'incendie, par ex. des installations de chargement, de production ou d'exploration pétrolière, des zones d'entraînement militaire ou des zones de stockage d'anciennes munitions.

Les sites sensibles comme les côtes, les réserves naturelles, les colonies d'oiseaux ou les parcs nationaux ou régionaux pourraient faire l'objet de dispositions réglementaires particulières. Néanmoins les opérations d'ISB sont généralement considérées dans ces zones où un niveau minimal de perturbation et une élimination rapide de l'hydrocarbure sont désirés.

Le processus de décision et l'analyse des bénéfices écologiques en fonction de options de lutttes envisagées

La réalisation d'une analyse des bénéfices écologiques et économiques (NEBA) permet d'identifier les stratégies de lutte appropriées générant l'impact environnemental et socio-économique le moins dommageable. Un NEBA sera mis en œuvre dans le cadre de la planification d'urgence contre le déversement ou dans le cadre du processus décisionnel au cours de la lutte. Le NEBA répertorie et compare les avantages et les inconvénients des différentes techniques de lutte contre le déversement en les comparant aux conséquences d'une absence d'intervention. Le NEBA prend en compte les conditions opérationnelles ainsi que l'efficacité de chaque technique et les caractéristiques du déversement, y compris sa localisation. Aucune technique de lutte n'est parfaitement efficace ou sans risque. Souvent, les opérations de lutte impliqueront une combinaison de plusieurs techniques d'intervention, dans la mesure où :

- chaque technique présente différentes forces et faiblesses vis-à-vis du déversement ;
- les caractéristiques du déversement peuvent évoluer au fil du temps ; et
- les déversements importants qui donnent naissance à des nappes de grande taille pourront être traités simultanément avec différentes techniques selon la localisation des nappes.

Un NEBA sera réalisé en collaboration avec diverses agences réglementaires et parties prenantes dans le cadre du planification d'urgence contre un déversement (voire IPIECA-IOGP 2015).

Les procédures d'autorisations

La plupart des pays n'ont pas encore mis en place de procédures d'autorisation des ISB. Les États-Unis se sont dotés de la procédure d'autorisation la plus développée en matière d'ISB :

- L'ISB est maintenant intégré aux plans de lutte couvrant plusieurs états ou régions, la procédure d'autorisation des ISB ayant été relativement bien définie sur une base régionale dans le cadre du Plan national de lutte des États-Unis.
- Le processus décisionnel en matière d'ISB reflète l'ampleur du déversement ou du brûlage planifié : les déversements les plus importants impliquent plusieurs agences, et les demandes d'autorisation sont alors soumises à des procédures de surveillance plus contraignantes. Les déversements et les brûlages de moindre importance pourront être traités par le personnel de lutte et les pompiers locaux.
- Des zones préautorisées permettant une prise de décision simplifiée ont été identifiées sur une base régionale, dans les zones côtières.

Comme de nombreux pays sont enclins à avoir recours à l'ISB dans le cadre des opérations de lutte contre les déversements, des processus d'autorisation, à l'instar des processus d'autorisation des dispersants, seront vraisemblablement mis en place. Ceci entend l'implication des gouvernements et des parties prenantes. De nombreuses autorités, à l'échelle d'un état ou d'une région, se sont d'ores et déjà dotées de dispositions légales leur permettant d'avoir recours au brûlage dans le cadre de la gestion des terres, le brûlage *in-situ* d'hydrocarbures déversés accidentellement pouvant être intégrés à un tel cadre légal.

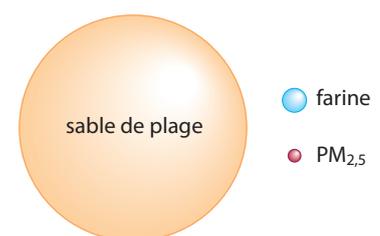
En général, les agences de réglementation s'intéressent tout particulièrement au niveau de sécurité opérationnelle (par ex. le contrôle du feu et la sécurité des intervenants) et à la sécurité du public (le contrôle du feu et les effets potentiels des panaches de fumée sur la qualité de l'air et la santé) durant les opérations de lutte. Voir *Le suivi opérationnel en matière de sécurité et de contrôle des opérations de brûlage* (page 34) pour plus d'informations sur la sécurité. Certaines juridictions ont, dans des cas spécifiques, suspendu les limites de qualité de l'air, notamment dans les cas d'urgence.

Les enjeux sanitaires et environnementaux

Les principaux enjeux pour la santé concernent les émissions produites par l'ISB. Selon les données disponibles, la combustion d'hydrocarbures libère principalement du CO₂ et de l'eau dans l'atmosphère (jusqu'à 85 % des émissions), des particules de carbone inertes, comme les suies, qui colorent les panaches de fumée (environ 10%), et de petites quantités d'autres gaz et de HAP (composés aromatiques polycycliques – des composés organiques contenant du carbone et de l'hydrogène). Au sujet des particules de suies, les débats se focalisent principalement sur une catégorie de particules fines, PM_{2,5} (de l'anglais Particulate Matter)— des particules d'une taille de 2,5 µm (Image 1).

Figure 1 Les dimensions des particules

(sur le fondement des données fournies avec l'aimable autorisation du National Wildfire Coordination Group)



L'inhalation de $PM_{2,5}$ pourrait représenter un enjeu sanitaire pour les groupes vulnérables, comme les personnes âgées, les enfants ou les personnes souffrant de troubles respiratoires. Les inquiétudes en matière de santé publique suscitées par les $PM_{2,5}$ sont liées aux expositions à long terme plutôt qu'aux événements de courte durée (par ex. un incendie). Cependant, toute exposition à des quantités suffisantes pourrait entraîner une irritation des yeux, du nez, de la gorge et des voies respiratoires, aggravant les pathologies préexistantes comme l'asthme. Ces effets sont en général temporaires et devraient disparaître après l'exposition.

Il convient de remarquer que :

- les hydrocarbures s'évaporeront des nappes d'hydrocarbures, qu'ils soient brûlés ou non.
- les données de suivi montrent que, la concentration en composés émis (particules, gaz etc.) diminue rapidement lorsque l'on s'éloigne de la zone de brûlage.
- les données collectées lors du suivi des brûlages d'hydrocarbures lors de la guerre du Koweït et de l'accident de Deepwater Horizon, n'indiquent pas que les concentrations en composés émis par le brûlage représentent une menace pour la santé humaine.

Une description des gaz et des émissions dans l'atmosphère qui pourraient être produites par l'ISB est fournie dans l'Encadré 1. En outre, la production ou non par l'ISB de dioxines ou de dibenzofurane a été l'objet de discussions. Les analyses des particules dispersées sous l'action du vent et des résidus produits par plusieurs incendies ont permis de constater des niveaux de dioxines et de dibenzofurane équivalents aux niveaux naturels et donc un impact nul de l'ISB en la matière.

Encadré 1 Gaz et autres émissions dans l'atmosphère résultant d'un ISB

- **Dioxyde de carbone (CO_2)** : le dioxyde de carbone est le produit final de la combustion générée pendant un brûlage *in-situ*. Les niveaux atmosphériques normaux s'élèvent à environ 300 ppm (parties par million), alors que les niveaux enregistrés à proximité d'un brûlage pourraient s'élever à 500 ppm, ne représentant ainsi aucune menace pour les hommes. Les concentrations au niveau du sol sont en général plus élevées que celles constatées dans le panache.
Outre la production de CO_2 et d'eau (qui constituent environ 85 % des panaches de fumée), et de particules fines (PM, suies dans le panache), quelques autres émissions sont produites en faible concentration par l'ISB.
- **Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAHs)** : la concentration des HAP, dans les panaches et les précipitations de particules au sol, est souvent inférieure à la concentration initiale en HAP dans l'hydrocarbure déversée. Cela comprend notamment la concentration en HAP polycycliques (5 ou 6 cycles), qui seront détruits par le feu.
- **Les composés organiques volatiles (COV)** : lorsque l'hydrocarbure est brûlé, ces composés s'évaporent et sont brûlés ou libérés. La concentration en COV s'est révélée relativement basse lors des essais de brûlages, comparé à une nappe non brûlée en cours d'évaporation.
- **Composés carbonylés** : Les brûlages d'hydrocarbures produisent de faibles quantités de matériaux partiellement oxydés, parfois nommés composés carbonylés ou désignés par le nom de leurs constituants principaux, les aldéhydes (formaldéhyde, etc.) ou les cétones (acétone, etc.). Les composés carbonylés sont générés par le brûlage des hydrocarbures bruts à des concentrations très basses, bien en deçà des niveaux représentant une menace pour la santé, même à proximité de des opérations de brûlage.
- **Le monoxyde de carbone** : la concentration en monoxyde de carbone se situe en général au niveau le plus faible de détection de la plupart des instruments voire en deçà de ces niveaux, et ne constituent donc aucune menace pour l'homme. La présence de ce gaz a été constatée seulement lorsque la combustion est incomplète, notamment lorsque de l'eau est déversée sur le feu.
- **Le dioxyde de soufre (SO_2)** : ce gaz n'est en principe pas détecté à des concentrations significatives. Parfois, les concentrations n'atteignent pas les niveaux mesurables dans le cadre des brûlages *in-situ* des hydrocarbures. Le SO_2 réagit avec l'eau afin de produire de l'acide sulfurique, qui peut être détecté à des niveaux plus bas que la teneur en soufre de l'hydrocarbure déversé.
- **Les autres gaz** : il y a eu plusieurs tentatives visant à mesurer la teneur en oxydes d'azote et en autres gaz courants. Aucun n'a été détecté au cours des nombreuses expériences réalisées.

D'autres sujets de préoccupations liés aux ISB concernent notamment les impacts potentiels sur la qualité de l'eau et les effets sur l'environnement (voir tableau 5). Les informations collectées dans le cadre d'opérations réelles ou d'essais de brûlage ont permis d'établir que les ISB ont peu d'effets sur la qualité de l'eau. Des études ont montré qu'aucune quantité mesurable d'hydrocarbures n'est libérée dans la colonne d'eau au cours du brûlage. Les hydrocarbures déversés sur l'eau et non brûlés auront un impact bien plus important sur la qualité de l'eau. En ce qui concerne les déversements sur terre ou sur le littoral, le brûlage permettra l'élimination des hydrocarbures en surface, les effets générés par la chaleur et les mesures de contrôle du feu pouvant être traités dans le cadre de la planification et de la mise en œuvre. La distance entre le site de l'ISB et les zones vulnérables constitue un point essentiel en termes de contrôle des opérations et de réduction du risque d'exposition.

Tableau 5 *Sujets de préoccupations liés à l'ISB*

Préoccupations	Réduction des risques
Santé publique	<ul style="list-style-type: none"> ● Un brûlage devra se situer à plus d'1 km de toute zone résidentielle située sous le vent des opérations, afin de prévenir toute exposition aux PM supérieure aux seuils.
	<ul style="list-style-type: none"> ● Un brûlage devra se situer à plus de 4 km de toute zone résidentielle située sous le vent des opérations, afin de tenir compte du temps nécessaire à la mise en place des dispositifs de protection sur place ou aux évacuations temporaires.
Qualité de l'air	<ul style="list-style-type: none"> ● Effectuer des prévisions sur les niveaux des émissions et les distances de sécurité.
Qualité de l'eau	<ul style="list-style-type: none"> ● Les études ont montré que les effets sont négligeables.
Impacts sur les terres	<ul style="list-style-type: none"> ● Ils dépendent des habitats et de la saison, mais peuvent être réduits par des opérations bien conçues et réalisées au bon moment.
Impacts sur les oiseaux/ les animaux	<ul style="list-style-type: none"> ● Ils dépendent des habitats et de la saison, mais peuvent être réduits par des opérations bien conçues et réalisées au bon moment et en utilisant des techniques pour éloigner les oiseaux et les animaux du site de brûlage.
Augmentation de la température de la surface de l'eau et des sols	<ul style="list-style-type: none"> ● L'eau agit comme un dissipateur de chaleur très efficace. Les études ont montré que les brûlages ont des effets négligeables sur la température de la surface de l'eau ou des sols.

La faisabilité opérationnelle des opérations d'ISB

Plusieurs points essentiels seront pris en compte pour déterminer le niveau de faisabilité opérationnelle d'un ISB. La sécurité de le personnel de lutte constituera la priorité première dans le cadre de l'évaluation de la faisabilité des ISB : le personnel de lutte devront avoir été dûment formés, ceux disposant d'une expérience dans la mise en œuvre des ISB ayant la priorité. Un équipement adéquat pour la l'ignition et de confinement sera nécessaire. Le personnel de lutte et l'équipement devront être prêts et à disposition dans la fenêtre d'opportunité de l'ISB. Une structure organisationnelle sera définie afin d'assurer un niveau satisfaisant de communication et d'information. Les rôles incluent un « responsable du brûlage », une « équipe de mise à feu », une équipe de contrôle du brûlage etc. Les caractéristiques du déversement (par ex. le type d'hydrocarbure, son comportement et ses propriétés, son emplacement, les conditions météorologiques, etc.) auront une incidence sur les chances de succès d'un brûlage, la stratégie et les tactiques liées au brûlage mais aussi sur l'issue des procédures d'autorisation de l'ISB.

Le comportement et les propriétés des hydrocarbures

Après avoir été déversé, l'hydrocarbure sera soumis à une série de modifications qui dépendront des circonstances dans lesquelles il a été déversé : il s'agit du processus de vieillissement. Le vieillissement correspond à l'altération des propriétés physiques et chimiques de l'hydrocarbure dans le cadre des processus naturels et notamment l'étalement, l'évaporation, la dissolution, la photo-oxydation, l'émulsification, la sédimentation et la biodégradation.

Des informations plus détaillées sur le comportement et les propriétés des hydrocarbures sont fournies par la Fiche d'information technique de l'ITOPF, *Le devenir des déversement d'hydrocarbures en mer* (voir la *Bibliographie* à la page 39).

Afin de déterminer si un ISB est faisable sur un déversement d'hydrocarbure donné, il est essentiel de comprendre dans quelle mesure ces processus modifient les propriétés des hydrocarbures déversés et affectent en la capacité de l'hydrocarbure à s'enflammer et à maintenir la combustion. Comprendre les propriétés d'un hydrocarbure donné avant tout déversement, et notamment sa tendance à s'émulsionner ou sa vitesse d'évaporation à différentes températures, permettra d'accélérer le processus décisionnel au cours d'un accident.

La caractéristique principale d'un hydrocarbure favorisant sa combustion est sa volatilité. En principe, plus la part de composés volatils dans l'hydrocarbure est importante, plus son ignition sera aisée et plus sa combustion sera entretenue. La vitesse d'évaporation dépendra de la température ambiante et de la vitesse du vent. En règle générale, les composants d'un hydrocarbure présentant un point d'ébullition inférieur à 200 °C s'évaporeront dans un délai de 24 heures. Il peut alors s'avérer difficile d'enflammer des hydrocarbures vieillis (dans la mesure où la plupart de leurs composés volatils se sont évaporés) ainsi que des hydrocarbures bruts lourds contenant de faibles quantités de composés volatils. Des températures élevées de mise à feu, l'ajout d'activateurs ou d'igniteurs et/ou des durées plus longues d'allumage pourraient s'avérer nécessaires.

Les hydrocarbures émulsionnés et lourds

En général, les émulsions instables d'hydrocarbures pourront être enflammées et permettront un brûlage en continu dans la mesure où l'émulsion se décomposera facilement au cours du processus de brûlage. En revanche, les émulsions stables d'hydrocarbures seront difficiles à enflammer dans la mesure où une quantité importante d'énergie sera requise pour chauffer l'eau (afin de permettre son évaporation) puis l'hydrocarbure. Une quantité supplémentaire d'énergie sera dès lors nécessaire pour évaporer l'hydrocarbure dans l'émulsion afin de s'assurer que le brûlage est maintenu.

Les essais de brûlages ont montré que si l'hydrocarbure émulsionné était enflammé et brûlé pendant une période assez longue, l'émulsion se décomposera sous l'effet de la chaleur produite par la combustion permettant ainsi à la nappe de brûler de manière continue. L'hydrocarbure émulsionné pourra brûler parallèlement au brûlage de l'hydrocarbure non émulsionné, dans la mesure où la chaleur produite par le brûlage de l'hydrocarbure non émulsionné décomposera l'émulsion (voir la photographie en page 7)

Les hydrocarbures lourds ne contiennent que peu de composés volatils à faible poids moléculaire. Cependant, on admet aujourd'hui que les hydrocarbures lourds – qui autrefois étaient réputés pour mal brûler ou ne pas brûler du tout – brûleront bien dans certaines circonstances. Des essais de brûlage de bitume (hydrocarbure très lourd) dans l'eau ont été réalisées et ont permis de mettre en évidence son potentiel de brûlage. Les hydrocarbures lourds, comme le Bunker C, brûlent plutôt bien. Les brûlages d'hydrocarbures lourds génèrent de faibles émissions par rapport aux brûlages d'hydrocarbure bruts. En outre, une quantité moindre de composés volatils et de HAP sera libérée dans l'air. Les résidus du brûlage d'hydrocarbure lourd sont extrêmement visqueux et, après avoir refroidis, pourraient devenir solides voire semblables à du verre dans certains cas.

Les agents de traitement

L'utilisation d'additifs chimiques (agents de traitement) visant à favoriser la mise à feu, le brûlage ou faciliter la gestion des fumées a fait l'objet de nombreuses études. Ces agents incluent notamment les désémulsifiants, les agents repoussants, le ferrocène, les activateurs et igniteurs de feux, et les absorbants (voir les descriptions ci-dessous). Il convient de noter qu'une autorisation des autorités publiques compétentes pourra être requise en vue de l'utilisation de ces agents, à l'exception des absorbants, dans le cadre des opérations de lutte contre le déversement. Seuls quelques agents sont actuellement autorisés.

- **Les désémulsifiants et inhibiteurs d'émulsions** sont utilisés soit pour décomposer les émulsions eau dans l'hydrocarbure en cours de vieillissement, ou pour prévenir la formation de l'émulsion. Leur usage dans le cadre d'essais de terrain ou de déversements en mer ou sur les côtes demeure limité. Ils ne seront pas utiles dans le cadre de déversements sur terre.
- **Les agents repoussants - ou « herders » en anglais** ont été développés et testés afin d'augmenter l'épaisseur des nappes d'hydrocarbures sur l'eau et ainsi de garantir une épaisseur suffisamment nécessaire au brûlage. Les essais réalisés en plein air sur la banquise ou dans les eaux libres ont permis d'établir que les agents repoussants favorisent le processus d'épaississement des nappes. Les agents repoussants seront principalement efficaces dans des conditions calmes: des vents supérieurs à 1,5 m/s ou la présence de vagues pourraient neutraliser leur effet en termes d'épaississement des nappes.
- **Le ferrocène** a été utilisé dans le cadre des opérations de lutte contre les feux de forêt afin de réduire et éliminer la formation de suies. Les essais ont permis de montrer que lorsqu'il est mélangé avec un hydrocarbure déversé, le ferrocène est extrêmement efficace à des doses de 1 à 2 %. Il est plus dense que l'hydrocarbure et l'eau, si bien qu'il est pré-mélangé et appliqué juste avant le brûlage dans le cadre des déversements à la surface de l'eau. La coordination d'une telle application peut dès lors s'avérer difficile. Le ferrocène peut également être encapsulé ce qui lui permettra de flotter ; dans ce cas, il pourra être appliqué sur un brûlage à la surface de l'eau après la mise à feu, bien qu'il ne s'agisse pas d'une pratique courante.
- **Les activateurs et igniteurs** (amorces) sont des agents qui, lorsqu'appliqués à des points déterminés d'une nappe d'hydrocarbure, sont censés produire une quantité suffisante de vapeurs d'hydrocarbure pour permettre la mise à feu. Une fois la nappe enflammée, la chaleur produite par le brûlage de l'amorce favorisera l'évaporation de l'hydrocarbure déversé et le maintien de sa combustion.
- **Les absorbants**, comme la mousse de tourbe, se sont révélés utiles en termes d'évacuation des hydrocarbures absorbés par les débris et les sols ; en outre, ils permettent d'optimiser le potentiel d'élimination des hydrocarbures en augmentant la quantité d'hydrocarbure censée brûler.

L'influence des conditions environnementales

Les circonstances du déversement et les conditions météorologiques pourraient avoir une influence sur la décision de procéder ou non à des opérations d'ISB. Vous trouverez ci-dessous des exemples de phénomènes météorologiques spécifiques et leurs impacts potentiels sur les ISB :

- La vitesse du vent, les rafales et changements de direction du vent, ainsi que, pour les déversements à la surface de l'eau, la hauteur, la typologie des vagues et les courants pourraient remettre en cause la sécurité et l'efficacité d'une opération de brûlage.
 - Les vents forts pourraient compliquer la mise à feu de l'hydrocarbure ou nuire au contrôle du brûlage. En règle générale, l'hydrocarbure pourra s'enflammer et brûler à des vents d'une vitesse inférieure à 10 m/s (< 18 nœuds). Cependant, des vitesses de vent plus faibles (< 5 m/s et < 10 nœuds) permettront un meilleur contrôle du feu.
 - Des essais en bassin ont montré qu'à des vitesses de vent supérieures à 15 m/s (> 30 nœuds), les flammes ne se propagent pas contre le vent. Cet effet pourrait compliquer le contrôle du feu ou empêcher l'élimination de l'hydrocarbure en fonction de l'emplacement du brûlage sur la nappe.
 - Des vitesses de vent supérieures pourraient rendre difficile le maintien des concentrations en vapeurs nécessaires et participer à l'extinction du feu.
- Les essais réalisés en bassin ont montré que les températures de l'air de 11 à 23 °C et des températures de l'eau de -1 à 17 °C n'affectent pas le potentiel de brûlage.
- La pluie pourrait réduire d'efficacité d'un brûlage en raison de l'effet refroidissant des gouttelettes d'eau et du potentiel de perturbation de la nappe, ce qui réduira l'évaporation.
- S'agissant des déversements à la surface de l'eau, l'état de la mer pourraient rendre difficile le confinement de l'hydrocarbure et donc la formation de nappes d'une épaisseur suffisante pour maintenir un niveau adéquat de concentrations en vapeurs. Les vagues d'une hauteur supérieure à 1 mètre pourraient compromettre le bon contact des barrages flottants avec l'eau et déboucher sur un échec du confinement.
- La glace a une influence limitée sur la capacité d'une nappe à brûler sur terre. Sur l'eau, la glace pourrait neutraliser le potentiel perturbateur des vagues et permettre le confinement de la nappe, renforçant ainsi son potentiel de brûlage.
- L'eau, la glace et la neige pourraient sur les terres faire office d'agents isolants, protégeant les sols et la végétation contre toute radiation de la chaleur vers les couches inférieures.

Le brûlage pourra être réalisé en toute sécurité la nuit à condition que les propriétés de la nappe et les conditions météorologiques soient connues. Il existe des exemples de brûlage réalisé de nuit en toute sécurité, sur des déversements dans les eaux côtières ou des marécages. Dans ces cas, les concentrations et l'emplacement de l'hydrocarbure étaient connus et les précautions pour empêcher le feu de se répandre aux zones environnantes avaient été prises. Le brûlage nocturne constitue une méthode relativement sûre dans le cas de nappes épaisses et non confinées en mer, notamment s'il s'agit d'un déversement offshore, et si son ampleur est connue et le trafic maritime réorienté. Cependant, le remorquage des barrages flottants pourrait s'avérer périlleux pendant la nuit.

Le brûlage dans des zones humides est bien documenté et une grande quantité d'information est disponible sur la protection des plantes marécageuses et les périodes optimales de mise en œuvre du brûlage. Par exemple :

- L'inondation d'une zone donnée constitue une technique efficace pour évacuer les hydrocarbures d'une zone humide en vue de son brûlage. Cette méthode garantit la protection des racines des plantes contre la chaleur et augmente le niveau de contrôle du feu. La zone pourra être inondée en plaçant un barrage au travers des fossés de drainage ou en pompant de l'eau depuis les zones les plus élevées. Il conviendra de faire preuve de prudence afin de s'assurer que l'eau ajoutée au milieu présente le même niveau de salinité que celles de la zones, et que les conditions naturelles de drainage sont rétablies après le brûlage.
- Le brûlage est tout particulièrement efficace lorsque la zone est particulièrement humide et que les sols sont saturés, par ex. au printemps. Il a été observé que les sols saturés en eau garantissent une isolation suffisante contre la chaleur produite par la combustion, si bien que les températures demeureront en deçà de celles affectant le biote des sols et les racines des plantes. Une analyse NEBA permettra d'appuyer le processus décisionnel pendant les saisons ou périodes sèches de l'année.

La glace et la neige présentes durant les périodes froides et dans les régions aux climats tempérés, les zones montagneuses, en Arctique ou en Antarctique, constitueront des obstacles naturels contre l'étalement de l'hydrocarbure déversé. La glace et la neige constitueront également des obstacles contre la pénétration de l'hydrocarbure dans les sols et le réchauffement des sols à la suite du brûlage. De nombreux brûlages ont été réalisés avec de la neige souillée, sur la glace, ou entre des blocs de glace dérivante (voire les photographies sur la droite). Les premières études en matière d'ISB ont été principalement réalisées au Canada afin de mettre en place des mesures de lutte contre les hydrocarbures déversés sur la banquise.

Les brûlages pourront être réalisés si l'hydrocarbure est :

- confiné dans des zones infestées de glace (plaques de glace recouvrant 7/10 ou plus de la surface),
- confiné dans des glaces dérivantes et présentant une épaisseur suffisante pour garantir un brûlage continu (la glace dérivante représentant de 2/10 à 6/10 de la surface),
- confiné par un barrage résistant au feu (généralement dans des eaux libres dont la portion recouverte par les glaces ne saurait dépasser 1/10),
- emprisonné entre des plaques de glace ou repoussé par le vent et présentant une épaisseur suffisante pour garantir un brûlage continu,
- confiné dans des bassins d'eau fondue sur des plaques de glace, et
- confiné dans des crevasses ou des tranchées dans la glace.



Environment Canada

À gauche : brûlage d'un déversement d'hydrocarbure entièrement confiné par des blocs de glace.

Ci-dessous : brûlage d'un hydrocarbure dans une tranchée de glace après un essai de déversement.



Environment Canada

L'utilisation de l'ISB

Un grand avantage de l'ISB est qu'il constitue une méthode de lutte efficace, que ce soit sur terre, sur l'eau, sur la neige ou sur la glace. La présente section décrit les modes d'application de l'ISB en fonction du contexte des opérations.

Les déversements terrestre

Le brûlage des hydrocarbures sur terre constitue une technique répandue et bien plus souvent utilisée que sur l'eau.

Les facteurs suivants seront pris en compte dans le cadre des ISB sur terre :

- L'impact de l'hydrocarbure et de la chaleur sur le sol et la végétation constitue un facteur central. Alors que certains types de plantes sont très sensibles au feu, d'autres ne le sont guère ou pourraient même être dépendantes du feu.
- L'historique d'un site en termes de brûlage (le recours aux ISB ou les brûlages dirigés réalisés dans le passé) sera analysé et pris en compte. L'historique de la zone en termes de comportement par rapport feu et de rétablissement des habitats fournira des données utiles pour estimer les effets potentiels du feu et le rétablissement. Dans de nombreux pays, le brûlage est utilisé pour restaurer ou maintenir un habitat sauvage (par ex. des plaines, des prairies, des forêts) et résoudre les problèmes liés aux espèces invasives. La richesse de la littérature et de l'expertise en matière de brûlages, pourra être mise à profit à l'occasion des ISB sur terre.
- L'impact et les effets d'une exposition des sols sous la surface (y compris les racines des plantes, les tubercules et les microorganismes) à la chaleur : ces effets sont grandement liés à l'humidité du sol, la profondeur de pénétration des hydrocarbures et l'intensité du feu. Dans le cas où le feu entraînerait la destruction des sols et des racines etc. le processus de re-végétalisation pourrait s'avérer beaucoup plus lent. Les nappes d'eau souterraines et les sols saturés devraient assurer un niveau suffisant d'isolation contre la chaleur.
- La quantité d'hydrocarbure qui a pénétré dans les sols ainsi que la profondeur de la pénétration, avant et après le feu : en présence d'une pénétration mineure avant l'incendie, le brûlage permettra une élimination d'une quantité importante d'hydrocarbure. Les déversements sur les habitats de tourbière constituent un enjeu particulier dans la mesure où l'extinction des incendies d'habitats de tourbe sèche s'est révélée difficile. Cependant, la tourbe saturée par l'eau ne peut pas brûler, si bien qu'un recours à l'ISB est possible en cas de déversement dans de telles zones.

Un grand nombre de facteurs s'applique aux brûlages sur terre comme aux brûlages sur l'eau. Il existe cependant quelques différences fondamentales :

- La facilité de mise à feu et l'épaisseur de l'hydrocarbure ne poseront pas de problème à condition que des matériaux combustibles (carburant végétal), comme l'herbe séchée, soient disponibles. Le brûlage des zones comprenant des matériaux végétaux ou du bois sec suppose seulement la mise à feu des matériaux en question.
- Les procédures de contrôle du feu sur terre diffèrent de celles appliquées aux feux sur l'eau : Tout d'abord, un coupe-feu est requis afin de délimiter le périmètre de la zone de brûlage. Parfois les obstacles naturels comme les rivières, les routes etc. pourront faire office de coupe-feu. Une fois le coupe-feu mis en place, la mise à feu sera en principe déclenchée sous le vent, afin de garantir un meilleur contrôle dans la mesure où le feu devra se frayer un chemin contre le vent. Une fois enflammée, le feu sera surveillé, notamment à proximités des coupe-feu.
- Des ressources suffisantes pour l'extinction et la prévention de toute propagation incontrôlée du feu doivent être mises à disposition. De telles ressources incluent en principe un camion de pompiers et des pompiers dûment formés. Après l'extinction du site principal de brûlage, le site sera contrôlé pendant plusieurs heures jusqu'au refroidissement de la zone et la disparition de tout risque de nouvelle mise à feu (flambées).
- Après l'extinction complète du site de brûlage, le suivi post-déversement devra inclure un examen de la zone, au cours duquel des prélèvements seront effectués aux fins d'analyse, ainsi qu'une observation directe des couches de surface. Il conviendra ici de déterminer : (1) si le feu a été entièrement éteint, (2) la présence d'un résidu de brûlage pouvant empêcher la repousse des plantes, (3) la pénétration de l'hydrocarbure dans le sol, et/ou (4) la présence d'un hydrocarbure non brûlé devant être traité (et si c'est le cas, cet hydrocarbure peut-il être brûlé).

La mise en place d'un coupe-feu pourrait poser des problèmes dans les zones humides dans la mesure où une végétation sensible pousse souvent à leur périphérie. Les coupe-feu pourront être mis en place de deux façons dans les zones humides, en ayant recours à des hydroglisseurs afin de tailler les plantes et/ou humidifier la zone périphérique entourant la végétation souillée.

Les déversements maritime

Le processus classique est le suivant : (a) confiner l'hydrocarbure au sein d'un barrage résistant au feu, (b) remorquer doucement le barrage résistant au feu à contre le courant afin de concentrer l'hydrocarbure vers la pointe du barrage et augmenter l'épaisseur de la nappe, et (c) mettre l'hydrocarbure à feu. Dans la plupart des cas, le barrage résistant au feu sera déployé sous le vent par rapport au déversement et un dispositif de remorquage sera mis en place. Lorsqu'une quantité suffisante d'hydrocarbure est amassée à l'intérieur du barrage, l'hydrocarbure est mis à feu comme illustré sur la photographie de droite. Un brûlage s'éteint en raison d'une quantité trop faible d'hydrocarbures à l'intérieur du barrage, et pourra être de nouveau allumé en orientant les navires et les barrages dans le sens du vent puis en les retournant contre le vent, avant de procéder à une nouvelle mise à feu. En situation d'urgence, la maîtrise du brûlage pourra être reprise en relâchant une extrémité du barrage, ou en accélérant le remorquage de façon à compromettre l'étanchéité du barrage. Cette procédure entraînera une diminution rapide de l'épaisseur de la nappe d'hydrocarbures, la diminution du taux d'évaporation et donc une réduction de l'intensité du brûlage.



Gardes côtes américains

Coordination des navires impliqués dans le remorquage, la mise à feu et le support des opérations de brûlage à la surface de l'eau.

Le barrage reste, en principe, déployé jusqu'à l'extinction du feu. Le brûlage et la progression du dispositif de remorquage seront l'objet de contrôles fréquents par le personnel à bord d'un avion ou sur un navire de grande taille.

Un hydrocarbure déversé sur ou dans une zone infestée de glace et ainsi pris au piège constitue une autre situation dans laquelle le brûlage peut être utilisé. Si accessible, l'hydrocarbure volatil déversé en surface pourra être enflammé directement en utilisant ou non un accélérateur. Des brûlages ont été réalisés dans des conditions de glace différentes toutes utilisées comme moyen de confinement (frasil, sarrasins, glace dérivante ou banquise) (Buist, *et al.*, 2013). Dans le cas où les hydrocarbures seraient pris dans les glaces, ils ne seront accessibles à nouveau que lorsque les températures remonteront, lorsque la fonte des glaces forme des chenaux permettant aux hydrocarbures de remonter à la surface de la glace.

Les zones côtières et littorales

Les obstacles, comme les côtes, les digues, les bancs de sable ou les glaces de mer pourront favoriser le confinement de l'hydrocarbure qui pourra être brûlé sans qu'il ne soit nécessaire d'utiliser des barrages anti-feu. Dans ces habitats, les côtes pourront se composer de falaises, de rochers, de graviers, de jetées, de digues ou de pentes sablonneuses. Dans le cas où la nappe d'hydrocarbure serait assez épaisse pour libérer la quantité de vapeurs nécessaires pour sa mise à feu, et en présence d'autres circonstances favorables, le brûlage sera possible. Une distance de sécurité sera maintenue entre l'hydrocarbure déversé et les autres matériaux combustibles, comme les structures en bois et les zones résidentielles. Des brûlages dans les eaux côtières ont été réalisés avec succès en Arctique, notamment dans les cas où les hydrocarbures étaient confinés par la côte. Sous l'action du vent du large, les hydrocarbures seront amenés et concentrés le long de la côte, augmentant l'épaisseur de la nappe et favorisant un brûlage de longue durée.

Dans certains cas, les hydrocarbures pourraient arriver à une côte dont l'accès constitue un risque pour les équipes d'intervention chargées des opérations de lutte mécanique. Le brûlage pourrait alors constituer l'unique solution de nettoyage faisable, du fait des besoins plus limités en matière logistique et de la possibilité de mise à feu à distance. Dans ce cas, la zone de déferlement ou les zones côtières dépourvues de végétation et ne comprenant pas de débris non souillés, pourront faire office de coupe-feu. La fenêtre d'opportunité de l'ISB se situera entre la marée descendante et la marée montante.

Les nappes non-confinées sur l'eau

Les nappes non-confinées sur l'eau pourront être brûlées dans les cas suivants : (1) dans les zones de convergences ; ou (2) lorsque le déversement produit un grand nombre de nappes épaisses à la surface de l'eau. Les zones de convergence est un phénomène de surface, généré par les vents, qui concentre naturellement les hydrocarbures déversés en nappes plus épaisses qui pourront s'avérer propice au brûlage. Le brûlage contrôlé des nappes non-confinées est rare mais pourrait s'avérer possible en présence d'une nappe d'une épaisseur suffisante. Dans le cas où la nappe serait d'ores et déjà suffisamment épaisse, il pourrait être judicieux de brûler la plus grande quantité possible dans un premier temps puis de mettre en places des barrages résistant au feu pour augmenter l'épaisseur de la nappe restante en vue d'un second brûlage.

Lors du brûlage d'une nappe non-confinée, le personnel doit s'assurer qu'il n'existe aucune connexion directe entre l'hydrocarbure qui sera brûlé et sa source, ce qui évitera toute propagation incontrôlée du feu. Lors de l'accident de Macondo, certaines des nappes d'hydrocarbures ont été enflammées sans confinement (voir la photographie de gauche) Ces brûlages non-confinés ont augmenté le nombre d'opérations de brûlage possibles ainsi que le volume de l'hydrocarbure éliminé par l'ISB.



Quatre brûlages en mer non confinés

Gardes côtes américains

Les risques et considérations opérationnelles

Le brûlage des hydrocarbures sur terre pourrait induire des risques qui n'existent pas dans le cadre du brûlage en mer. Par exemple, la mer agit comme un obstacle entre les brûlages offshore et la côte, permettant de prévenir toute étalement incontrôlée d'un incendie. Dans le cas de brûlages sur terre, il n'existe pas d'obstacle entre la zone de brûlage et les autres terres/matériaux combustibles situés à proximité. Il conviendra de faire preuve de prudence lors de la mise à feu d'un brûlage sur terre. Les risques induits dans ou à proximité de la zone de brûlage incluront notamment :

- les combustions non souhaitées,
- les risques physiques comme les débris, fils barbelés etc.,
- les zones difficiles d'accès, celles parsemées de trous ou comportant des pentes raides, et
- les zones dans lesquelles les véhicules peuvent se retrouver immobilisés.

Contrôle des fumées (gestion des fumées)

Les effets sur la santé résultant d'une exposition à un panache de fumée seront évalués afin de définir les meilleures stratégies de brûlage. Il est possible d'influencer la taille et la trajectoire des panaches de fumée en limitant la taille de chaque feu, ou en procédant au brûlage dans différentes directions du vent ou à différentes heures de la journée. De manière générale, la distance de sécurité qui devra être maintenue avec le public sera d'1 km sous le vent du brûlage (voir le tableau 5 à la page 12) et est calculée sur une estimation prudente de la dilution des concentrations de $PM_{2,5}$ afin de réduire le seuil d'exposition sur 24 heures en dessous de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ce même seuil sera appliqué aux le personnel de lutte opérant sur le site de brûlage ; l'exposition sera néanmoins minimale ou négligeable lors de l'usage d'EPI.

Le biote

Il conviendra de prêter une attention particulière à la variété du biote durant les opérations de lutte, que ce soit pour le brûlage ou non. Les points suivants feront l'objet d'une attention toute particulière :

- les oiseaux notamment en période de nidification,
- les espèces végétales sensibles durant les saisons de pousse ;
- les animaux fouisseurs et nidificateurs hors périodes de dormance
- les espèces migratoires et celles recherchant et consommant de la nourriture sur un site de déversement, et
- l'impact des particules d'un panache de fumée sur les habitats environnants.

La mise en œuvre d'un NEBA dans le cadre de la planification de lutte contre le déversement d'hydrocarbures pourrait faciliter l'évaluation des facteurs comme ceux répertoriés ci-dessous en amont d'un déversement. L'élimination rapide de l'hydrocarbure par un ISB pourrait limiter et/ou prévenir l'exposition du biote aux hydrocarbures. La planification du brûlage devra tenir compte :

- de la faune sauvage locale. Il sera peut-être nécessaire de considérer les techniques pour éloigner les animaux de la zone d'intervention, et
- des espèces protégées, notamment dans le cadre de la conception et de la mise en œuvre du brûlage. Les espèces protégées nécessiteront l'intervention de spécialistes dûment formés et agréés.

Il conviendra ici de préciser que le feu est partie intégrante du cycle de vie de certains habitats terrestres comme les pins qui en ont besoin pour se développer ou de nombreux pâturages.

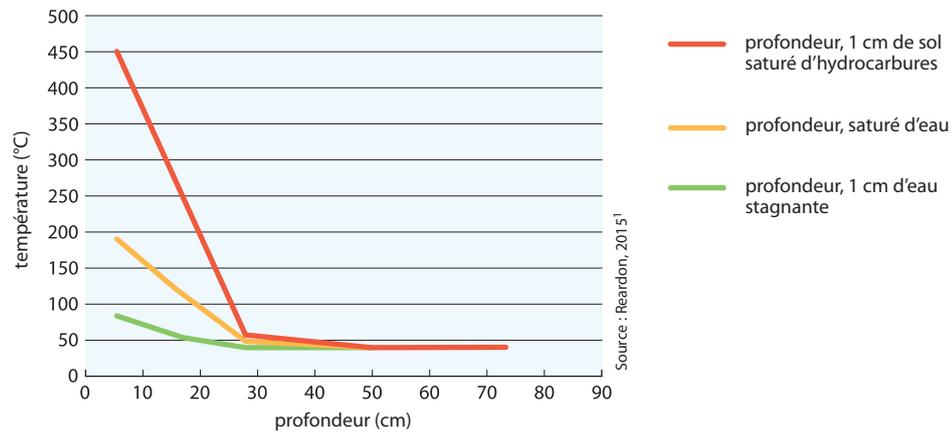
L'augmentation de la température des sols

L'augmentation de la température des sols est susceptible d'affecter la végétation via une modification des propriétés des sols, et en affectant les structures des plantes sous la surface, comme les racines et les tubercules. Des dommages aux micro-organismes des sols et des cellules végétales, voire la mortalité de ces organismes, surviendront si la température dépasse le seuil de 60°C. Outre la profondeur et l'intensité de la chaleur, les effets du feu sur la végétation dépendront également des propriétés de certaines espèces, comme la profondeur de leurs racines ou leur sensibilité à la chaleur. Afin d'optimiser l'évaluation des impacts potentiels d'un ISB, des informations sur les effets sur la flore et la faune, et des informations sur l'occurrence des incendies de végétation (fréquence, intensité etc.) aux États-Unis sont disponibles dans le cadre du *Fire Effects Information System* (FEIS). Ces informations pourront être exploitées pour d'autres sites présentant des communautés végétales semblables. La base de données du FEIS est disponible à l'adresse suivante www.feis-crs.org/beta.

Du fait de la quantité importante d'énergie générées par la combustion des carburants à base de pétrole observées au cours d'opérations d'ISB, il semble que le sol subisse un réchauffement important. Cependant, cette augmentation de température découle du transfert de chaleur depuis la zone de combustion vers les couches situées en-dessous et est influencé par plusieurs facteurs y compris l'humidité du sol. Les recherches ont montré qu'un faible pourcentage de l'énergie totale émise durant le brûlage sera transmis au sol. En outre, si le sol est humide, alors la température ne dépassera pas 100 °C tant que l'humidité du sol ne sera pas évacuée ou transférée dans des couches plus profondes.

Le résultat des essais de brûlage d'hydrocarbures réalisées en laboratoire sur des carottes de sols mettent en évidence les effets de l'eau du sol sur le transfert de chaleur vers et dans le sol (voir l'image 2 à la page 20). Les températures maximales à la surface du sol varient en fonction du niveau de saturation en l'eau. Cependant, et à l'exception des températures enregistrées dans le cadre du traitement d'un sol saturé en hydrocarbures, la température maximale du sol à une profondeur de plus de 2 cm est inférieure à 60 °C, en raison du niveau élevé d'humidité du sol. Ces résultats soutiennent l'utilisation de l'ISB sur une large gamme de sols au niveau d'humidité élevé.

Figure 2 Données de laboratoire sur les brûlages d'hydrocarbures montrant les effets de l'humidité du sol sur le l'augmentation de la température du sol



Les conditions météorologiques

Certaines conditions météorologiques sont susceptibles d'avoir une influence sur la planification du brûlage et sa mise en œuvre eu égard aux enjeux en matière de sécurité et d'exposition au $PM_{2,5}$. Par exemple, les cas d'inversion de température, présente ou future, pourraient limiter la dissipation d'un panache de fumée ou la dispersion des constituants du panache. La photographie ci-dessous montre les effets du vent et d'une inversion de température sur un panache de fumée, qui se déplace latéralement parallèlement au sol, sur environ un kilomètre.

Un panache de fumée se déplaçant parallèlement au sol sous l'effet des vents latéraux et d'une inversion de température.



Environment Canada

C'est aussi le cas avec les fronts météorologiques, dont les prévisions annoncent la venue sur la zone de déversement dans les 12 heures. Un tel phénomène pourrait entraîner des changements rapides des vents (vitesse et direction) ou des précipitations. En fonction de l'ampleur et de la durée planifiée des opérations, il pourrait alors être souhaitable de procéder au brûlage avant l'arrivée du front météorologique afin de prévenir toute complication potentielle sous l'effet de la pluie ou la neige sur la nappe, les impacts des vents sur le contrôle du feu ainsi que toute préoccupation relative aux trajectoires des panaches de fumée à proximité des populations sensibles.

¹ Reardon, James, 2015. Expert forestier auprès du Laboratoire sur les incendies de forêt situé à Missoula, Montana. Communications personnelles sur les résultats des brûlages de sol peu profond réalisés par l'*American Petroleum Institute*.

La planification d'une opération d'ISB

Chaque ISB sera précédé par une phase de préparation et de validation du plan de brûlage qui décrira les circonstances du déversement, les activités de brûlage planifiées et les mesures de maîtrise des risques nécessaire pour garantir la sécurité du personnel et du public. Un plan général ou un modèle de plan de brûlage pourront être préparés à l'avance. Un tel document devra contenir toutes les informations jugées utiles répertoriées dans le Tableau 6 afin de favoriser et d'accélérer la mise en place d'un plan de brûlage dédié à un déversement donné.

Tableau 6 Contenu d'un plan de brûlage générique

Contenu général	Éléments du plan
Objectifs du brûlage et résultats escomptés	Plan de communication, incluant les coordonnées des unités locales de sapeurs-pompiers : <ul style="list-style-type: none"> ● le personnel des principales agences de réglementation ● le plan de communication avec le public
La description physique et juridique du site de brûlage comportant des cartes et des photos : <ul style="list-style-type: none"> ● les circonstances du déversement et le degré de vieillissement de l'hydrocarbure ● les risques ou les enjeux dans la zone de brûlage ● la faune menacée dans la zone de brûlage * 	
Les missions de l'équipe de lutte et ses coordonnées	Le plan de mise à feu
Les équipements et les ressources : <ul style="list-style-type: none"> ● la mise à feu** et contrôle du feu ● véhicules/navires ● le soutien aérien ● EPI ● les outils de récupération et de nettoyage 	Le plan santé et sécurité, incluant : <ul style="list-style-type: none"> ● les considérations en matière de contrôle/d'extinction de l'incendie (s'il y a lieu) ● le plan d'évacuation de le personnel de lutte incluant des cartes(s) ● les plans d'évacuation des personnes résidentes à proximité ● les règles de navigation pour les navires et le contrôle du trafic pour les sites terrestres
La conception, l'emplacement et la mise en place de coupe-feu, ainsi que la surveillance du périmètre	Une liste de vérification des conditions de mise en place
Des informations sur la gestion des fumées et les prévisions sur la trajectoire du panache	Le plan de observation et de suivi
La date d'adoption du plan et le(s) signature(s) portant approbation	Les activités post-brûlage : <ul style="list-style-type: none"> ● les activités de récupération ● les activités de nettoyage et de récupération du résidu

* Ceci pourrait nécessiter la rédaction et l'utilisation d'un « Guide sur les meilleures pratiques de gestion » pour la faune/les espèces concernées. Pour des exemples, voir aussi : <https://awionline.org/sites/default/files/uploads/documents/govleg-bestpracticesseaturtles-102011.pdf>

** voir ASTM F1990 - 07(2013): *Standard Guide for In-Situ Burning of Spilled Oil: Ignition Devices.*

L'équipement, les navires et les véhicules de l'équipe dédiée au brûlage

Les équipements, navires et/ou véhicules nécessaire doivent être mis à la disposition de l'équipe dédiée au brûlage *in-situ* afin de leur permettre de lutter contre tout accident potentiel, y compris un feu se propageant dans de multiples directions. Au cours d'un brûlage sur terre ou en zone côtière, au moins deux personnes doivent prendre place dans chaque véhicule, leurs déplacements étant surveillés depuis un site sécurisé. Les membres de l'équipe doivent être équipés de pelles, de râtaux et d'équipements d'extinction. À l'issue de l'opération de brûlage, la récupération du résidu pourra nécessiter l'utilisation d'autre outils et de récipients pour la collecte et l'élimination.

La gestion des fumées

Il conviendra d'estimer et de prendre en compte les impacts potentiels des fumées. La fumée générée par un panache de brûlage pourra être gérée en réduisant la hauteur des flammes, en procédant à un brûlage dans différentes directions de vent et à divers moments de la journée.

Les procédures d'évacuation et la mise en place de zones de sécurité

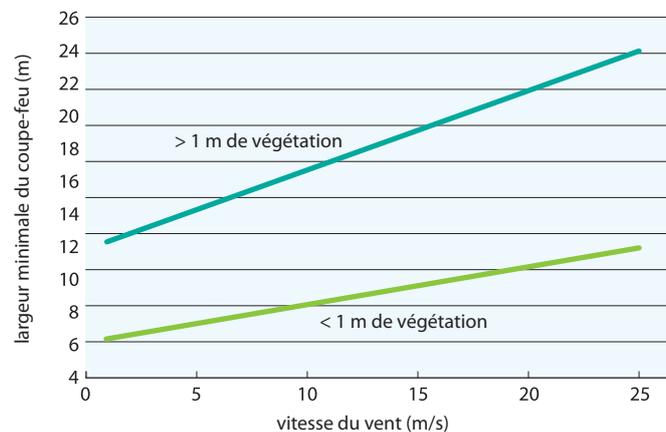
À titre préventif, un plan d'évacuation et des zones de sécurité doivent être mis en place afin d'encadrer une potentielle évacuation du public des zones avoisinant l'opération d'ISB. Le plan devra prendre en compte les scénarios les plus défavorables. En règle générale, les dimensions de la zone de sécurité doivent être telles que la distance entre les pompiers et les flammes puisse être au moins égale à quatre fois la hauteur maximale des flammes. Selon un autre principe fondamental, la zone d'évacuation, placée sous le vent du brûlage, sera située à une distance équivalente à au moins dix fois la longueur de la distance sous le vent de la zone de brûlage, ou à au moins 1,5 kilomètre (un mile). La distance d'évacuation au vent doit être égale à la distance sous le vent de la zone de brûlage. Avant d'entreprendre tout brûlage, la ou les zone(s) d'évacuation doivent être communiquées de manière précise et présentées à l'ensemble du personnel évoluant dans la zone de brûlage.

Coupe-feu

Un coupe-feu doit être mis en place autour de tout brûlage réalisé dans une zone terrestre ou côtière afin de protéger les zones environnantes contre la propagation de l'incendie. La largeur et la longueur d'un coupe-feu sont fonction du type de terrain, du vent, de l'humidité du sol, de la végétation ainsi que de la hauteur des plantes. La largeur minimale est d'environ 6 m (15 – 20 pieds). Dans le cadre des opérations sur l'eau, des coupe-feu existeront de facto, notamment via le respect des distances de recul (remorquage) des navires et l'utilisation de barrages flottants.

La méthode de calcul de la largeur des coupe-feu placés sous le vent est illustrée par l'image 3. Comme la largeur sous le vent d'un coupe-feu est supérieure à la distance minimale au vent, la zone de brûlage et ses coupe-feu formeront un quadrilatère.

Figure 3 Largeur des coupe-feu en fonction de la vitesse du vent dans le cadre des brûlages



Les coupe-feu pourront être mis en place sur terre ou sur les côtes, en s'appuyant sur, par exemple :

- une zone déjà brûlée comportant peu ou pas d'hydrocarbure ou de combustible végétal ;
- des surfaces tondues et/ou humides,
- des modifications topographiques naturelles (comme les fleuves),
- des terres labourées,
- des routes, et
- la construction de coupe-feu au moyen d'un bulldozer, d'une niveleuse, etc.



US National Park Service



Environment Canada

À gauche : coupe-feu mis en place en défrichant un terrain et brûlage d'un hydrocarbure déversé depuis un pipeline en hiver lors duquel une route enneigée fait office de coupe-feu.

Au cours de brûlages sur l'eau, les exigences en matière de coupe-feu seront satisfaites via le respect de distances de recul entre les navires remorquant les barrages anti-feu et les navires avoisinants.

Voir aussi la *Bibliographie* à la page 39 pour des sources d'informations sur le brûlage des terres et la mise en place des coupe-feu.

La maîtrise de l'incendie

Un plan sera mis en place et des ressources mobilisées pour réduire le risque de propagation de l'incendie au-delà de la zone de brûlage planifiée. Dans le cadre des brûlages terrestres ou côtiers, un tel plan peut contenir des informations sur les ressources disponibles en matière de lutte incendie, les procédures d'élimination des débris non souillés et la mise en place des coupe-feu.

Une technique utilisée dans le cadre des brûlages terrestres consiste à pulvériser de l'eau ou inonder la zone afin d'humidifier le site de brûlage. Ceci permettra également de faire remonter l'hydrocarbure à la surface de l'eau en vue d'une élimination par brûlage.

Dans le cadre des brûlages sur l'eau, l'incendie sera le plus souvent maîtrisé en détachant l'extrémité d'un barrage anti-feu remorqué afin de permettre à la nappe de s'étaler et donc d'en diminuer l'épaisseur, et de la sorte de réduire la concentration de vapeurs inflammables. Une autre méthode consiste à provoquer une fuite du barrage afin de générer le même effet (par ex. en augmentant la vitesse de remorquage). Une méthode permettant de générer des effets plus modestes consiste à faire passer rapidement un navire à proximité du barrage et de la nappe en flamme, en faisant en sorte que la vague de proue fractionne la nappe et affecte ainsi le maintien de la combustion.



US National Park Service



Minnesota Pollution Control Agency

À l'extrême gauche : une citerne d'eau prête à être utilisée afin de maîtriser l'incendie.

À gauche, ci-contre : la pulvérisation aérienne de retardateur de feu en amont d'un brûlage sur terre



Utilisation d'une torche pour allumer un ISB.

US National Park Service

Le plan de mise à feu

Le plan de mise à feu décrira la ou les méthode(s) de mise à feu, l'équipement de mise à feu, l'accès au site, la ligne et l'emplacement des mises à feu, les zones de sécurité ainsi que l'heure et le rythme de mise à feu. Les principes ci-dessous s'appliquent aux brûlages sur terre, sur les côtes ou sur l'eau. Le sens d'approche dépendra de la direction du vent et des courants pour un brûlage sur l'eau, et des vents, de l'inclinaison du terrain et de la végétation pour un brûlage terrestre. La torche constitue l'outil de mise à feu le plus souvent utilisé dans le cadre des brûlages terrestres (voire la photographie à gauche). Une fusée attachée à un bidon de carburant gélifié constitue l'outil de mise à feu le plus souvent utilisé dans le cadre des brûlages sur l'eau.

La mise en œuvre du brûlage

La mise en œuvre des opérations de brûlage devra satisfaire les exigences réglementaires. Des procédures d'autorisation des brûlages peuvent être déjà définies à différents niveaux dans les réglementations. Un plan relatif à l'ISB doit être défini et son exécution effectuée en coordination avec les plans de brûlage prévus dans une juridiction particulière.

Le briefing de sécurité préalable aux opérations d'ISB

Avant chaque brûlage, un briefing de sécurité sera réalisé avec le personnel de lutte sur le site. De tels briefings viseront principalement à fournir les informations les plus récentes sur le degré de vieillissement, l'état des lieux de la situation et le plan de mise à feu, ainsi que des rappels en matière de communication et d'urgence.



US National Park Service

La mise à feu

Au signal donné par le « responsable de brûlage », l'équipe chargée de la mise à feu appliquera une source de chaleur sur la nappe afin d'initier la combustion. Les photographies ci-dessous illustrent la mise à feu d'un déversement sur l'eau (à gauche) et d'un déversement terrestre (à droite). La mise à feu des émulsions stables pourrait s'avérer très difficiles car l'eau présente dans les hydrocarbures pourrait agir comme un dissipateur de chaleur. Par conséquent, une quantité plus d'importante d'énergie est nécessaire pour chauffer et permettre l'évaporation de vapeurs d'hydrocarbures et ainsi assurer la viabilité du brûlage.

À droite, ci-contre : un exemple de dispositif de mise à feu portatif composé d'une fusée maritime, de carburant diesel et d'un agent gélifiant.

À l'extrême droite : l'extrémité de la fusée est utilisée pour enflammer l'hydrocarbure après le réchauffement du sol gelé.



Elastec Inc.



US National Park Service

Le suivi des opérations d'ISB

L'incendie fera l'objet d'un suivi visuel. Le suivi se fera également au moyen de moniteurs de particules dimensionnés en fonction de l'ampleur du déversement et du brûlage ainsi que des conditions météorologiques. Les photographies géolocalisées par GPS et horodatées sont des éléments précieux pour documenter la progression des opérations de brûlage. Des équipes doivent patrouiller à proximité des coupe-feu, afin d'évaluer l'efficacité des mesures de maîtrise du feu, tout en faisant preuve de la prudence nécessaire. Les brûlages terrestres peuvent être suivis au moyen de véhicules ou d'avions. Les brûlages sur l'eau peuvent être surveillés depuis des navires ou des avions. Les moniteurs de particules pourront être fixes/mobiles ou situés au niveau du sol/du panache. Voir *Le suivi opérationnel en matière de sécurité et de contrôle des opérations de brûlage* à la page 34.

Extinction des flammes restantes après un brûlage, durant la finalisation des opérations de brûlage.

La finalisation des opérations et le nettoyage du site

Le site de brûlage sera examiné et nettoyé à l'issue des opérations. Ceci inclut l'extinction des zones encore incandescentes avec de l'eau, ou des zones où la reprise du feu est suspectée. Tout résidu de brûlage d'un hydrocarbure lourd susceptible d'empêcher la re-végétalisation doit être dûment identifié afin d'être traité après le brûlage. Cette étape est plus importante dans le cadre des brûlages terrestres et côtiers du fait du potentiel de reprise du feu à partir de végétation en cours de combustion ou incandescente, ou à partir de poches d'hydrocarbures résiduels.



US National Park Service

Les opérations post-brûlage

Plusieurs types d'activités peuvent être mises en œuvre à l'issue des opérations de brûlage, en fonction des besoins. Il s'agira notamment d'opérations de communication, la stabilisation d'urgence du site, le suivi post-brûlage du rétablissement des habitats, et l'aide au rétablissement via la réhabilitation.

Les rapports de synthèse opérationnels

Prévus par la plupart des plans de brûlage, des rapports de synthèse sont présentés à (aux) autorité(s) ayant délivré les autorisations. De tels rapports contiennent une présentation des conditions sur le site avant le brûlage, la documentation sur la mise en œuvre du brûlage, les estimations en matière d'élimination de l'hydrocarbure, les observations du comportement du feu (particulièrement précieuses pour les brûlages terrestres ou côtiers) ainsi que les informations sur les pertes de contrôle éventuelles et les actions envisagées afin de reprendre le contrôle. Les rapports de synthèse opérationnels sont souvent accompagnés d'une documentation photographique. Ainsi, sur la photographie de droite, la zone souillée par le déversement d'un pipeline est marquée en jaune alors que le tracé du pipeline est marqué en rouge. Les informations contenues dans le rapport de synthèse relatif au brûlage reflètent l'ampleur du déversement et la complexité du brûlage.

Exemple de documentation photographique relative à un site de brûlage.



Jacqui Michel, RPI

La stabilisation d'urgence

Les opérations de stabilisation d'urgence entreprises à l'issue d'un brûlage terrestre ou côtier incluent des actions correctrices immédiates qui pourraient s'avérer nécessaires sur un site de brûlage afin de garantir un impact minimal sur les réseaux de drainage, l'état des sols et la végétation. Cette activité traite uniquement des besoins à court terme en termes de stabilisation des terres ou des côtes, avant la mise en place d'actions de restauration ou le rétablissement naturel de la zone. Cette étape ne s'applique pas aux brûlages sur l'eau.

Les observations post-brûlage et le suivi du rétablissement

En fonction de l'ampleur d'un déversement et à l'issue du brûlage en zone terrestre ou côtière, la zone brûlée sera surveillée afin de pouvoir estimer la quantité d'hydrocarbures éliminés et observer la progression de la végétalisation et le rétablissement des habitats, pendant une période de temps donnée après le brûlage. Des visites périodiques sont recommandées permettant d'observer et de documenter le rétablissement. Dans le cas où le rétablissement serait lent, des opérations d'ensemencement ou d'autres méthodes de réhabilitation pourraient être mises en œuvre.

Les observations suivant un brûlage sur l'eau visent principalement à estimer la quantité d'hydrocarbures éliminés et à déterminer le potentiel de récupération des résidus.

La réhabilitation

La réhabilitation constitue une activité de long terme visant à faciliter la restauration de zones terrestres ou côtières brûlées. Elle peut être intégrée à un plan de brûlage ou être développée ultérieurement (jusqu'à trois voire même cinq ans). Elle inclut la restauration de la végétation, des sols ou des réseaux de drainage à long-terme, notamment en ensemençant, en ajoutant des amendements du sol ou en modifiant les réseaux de drainage etc. Cette étape ne s'applique pas aux brûlages sur l'eau.

La zone de brûlage doit être surveillée notamment afin de déceler la présence de résidus denses recouvrant des zones de végétation. Tout résidu susceptible d'empêcher la régénération de la végétation, doit être traité, récupéré ou fragmenté et mélangé à la terre. L'amendement du sol ou l'ensemencement peuvent être souhaitables.

Les photographies ci-dessous et celles publiées à la page 27 illustrent des situations antérieures et postérieures aux brûlages/durant le suivi du rétablissement, sur trois sites différents.

À droite : (a) la végétation d'un marécage avant le brûlage ; et (b) la végétation du même marécage un an après le brûlage.



Jacqui Michel, RPI



Jacqui Michel, RPI



NOAA



NOAA

À gauche : (a) vue aérienne d'un déversement dans un marais suite au débordement d'un bassin de décantation ; et (b) vue aérienne d'un brûlage réalisé sur le même marais.



NOAA



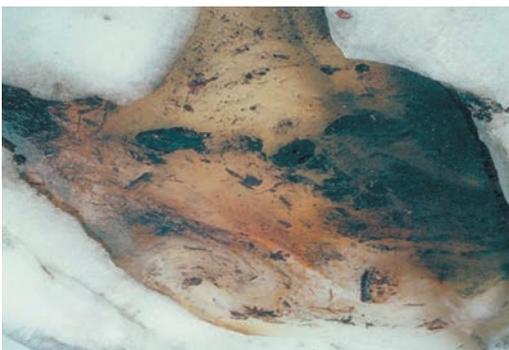
NOAA

À gauche : (a) la surface d'un marais alors que le feu s'éteint ; et (b) la surface du même marais trois semaines après le brûlage.

Les résidus de brûlage

Les résidus de brûlage se composent d'hydrocarbures partiellement brûlés, d'hydrocarbures dépourvus de ses composés volatils, et/ou de suies. Souvent visqueux et dense (voir les exemples ci-dessous), ils ont l'aspect d'un hydrocarbure vieilli du même type. Les hydrocarbures non brûlés ne sont pas des résidus. Le poids du résidu figurant sur la photographie de droite a été estimé à environ 20 kg soit 0,05 % de la quantité initiale d'hydrocarbures.

La densité du résidu du brûlage dépend de la masse de l'hydrocarbure initial et du rendement du brûlage. Un brûlage efficace sur l'eau d'un hydrocarbure brut lourd produira un résidu dense qui pourrait couler et constituer une menace pour les espèces benthiques et les exposer à un risque d'étouffement. Cependant, de tels cas sont rares et ont été signalés au cours d'un petit nombre d'opérations dans le monde. Les résultats de plusieurs essais ont montré que les résidus de brûlage sont moins toxiques pour le milieu aquatique que les hydrocarbures vieillis.



NOAA



Environment Canada

À l'extrême gauche : résidu d'un brûlage de mazout sur la neige et la glace.

À gauche, ci-contre : résidu à la pointe d'un barrage après le brûlage de 50 tonnes d'hydrocarbures.

La décision de procéder à la récupération du résidu par voie mécanique ou de le laisser se dégrader dépendra de la quantité totale de résidu, de sa densité et donc de son potentiel de submersion (si l'ISB était réalisé dans l'eau) et son devenir s'il n'est pas récupéré. Les autres facteurs qui seront pris en compte incluent la disponibilité immédiate des équipements et du personnel, dans la mesure où ceux-ci sont peut-être mobilisés sur d'autres opérations de récupération, et conditions de sécurité des opérations de récupération des résidus. Les critères de décision en matière de récupération du résidu pourront être intégrés au processus décisionnel articulé autour d'un NEBA.

Il existe cependant d'autres méthodes de récupération du résidu de brûlage :

- En fonction de la quantité, le résidu pourra être récupéré de manière mécanique ou collecté au moyen d'un système d'aspiration ou d'une pompe submersible, ou être récolté manuellement au moyen de pelles et de seaux.
- Une méthode applicable sur l'eau consiste à amasser le résidu d'hydrocarbure en un lieu unique au moyen de pompes ou de tuyaux d'eau déployés depuis un bateau. Une fois concentré en un même point, le résidu pourra être de nouveau enflammé, ou bien enflammé avec une quantité d'hydrocarbures récemment collectés afin de réduire le volume de résidu à récupérer.
- Les résidus sur l'eau pourront être collectés au moyen d'un barrage et récupérés au moyen d'absorbants ou de récupérateurs adaptés aux hydrocarbures.
- Sur terre, le recours à des équipements mécaniques permettent une récupération plus efficace du résidu. Il est parfois souhaitable de laisser le résidu en l'état après les opérations de brûlage réalisées au sein d'habitats sensibles aux piétinements (par ex. dans les zones humides).

Il est possible qu'il subsiste des hydrocarbures non brûlés après un brûlage. Dans le cas où son épaisseur et sa quantité seraient suffisantes pour permettre la mise à feu, ces hydrocarbures résiduels pourront être de nouveau brûlés.

Les équipements nécessaires pour l'ISB

Deux principaux types d'équipement sont nécessaires pour la mise en œuvre d'opérations d'ISB : un dispositif de mise à feu (le dispositif assorti d'un support ou d'un lanceur) et, pour les déversements sur l'eau, un barrage de confinement.

Les dispositifs de mise à feu (igniteurs)

Différents dispositifs et méthodes de mise à feu ont été utilisés pour l'ignition des nappes d'hydrocarbures. Un grand nombre de ces méthodes sont des adaptations de dispositifs généralement utilisés à d'autres fins. En général, les dispositifs de mise à feu ou igniteurs doivent remplir deux critères fondamentaux :

1. Leur utilisation doit être sans danger.
2. Ils doivent produire une chaleur suffisante pour enflammer les vapeurs d'hydrocarbure générées par une nappe.

Les igniteurs hélicoptés

Des hélicoptères sont parfois utilisés pour transporter les dispositifs de mise à feu. Souvent nommés « hélitorches » ces dispositifs suspendus larguent des jets de carburant gélifié enflammé. Ce type de dispositif de mise à feu a été mis au point dans l'industrie forestière et a été souvent utilisé à l'occasion des opérations de lutte contre les feux de forêt. Il est souhaitable que les pilotes soient formés à l'utilisation des hélitorches. Deux dispositifs hélicoptés sont présentés ci-dessous.



Clean Caribbean and Americas



OSRL

À l'extrême gauche : un hélicoptère et son réservoir vide dont le contenu a été déversé avant son retour à la base.

À gauche, ci-contre : un hélicoptère transportant une torche suspendue et déversant un carburant gélifié en vol.

Les igniteurs portatifs et les moyens mobiles de mise à feu

Les igniteurs portatifs sont nombreux, des dispositifs les plus simples (par ex. les allumettes) aux plus complexes (torches suspendues, les lance-flammes et les lanceurs de sphères en plastique). Les dispositifs portatifs pourront être utilisés lors des opérations de mise à feu des zones terrestres, comme le montrent les photographiques en haut de la page 30. Il conviendra de faire preuve de prudence afin d'éviter l'inflammation des matériaux situés à proximité, notamment si des composés volatils sont présents. Le gasoil ou les hydrocarbures bruts légers ne sauraient être enflammés à proximité directe. En outre, il convient de remarquer que la propagation du feu via un nuage de vapeurs, comme ceux formés par le gasoil ou les carburants similaires, peut atteindre jusqu'à 50 m/s (100 nœuds).

À droite, ci-contre : le membre d'une équipe de mise à feu allumant un brûlage dirigé au moyen d'un pistolet de détresse.

À l'extrême droite : utilisation d'une torche pour allumer un brûlage dirigé.



US National Park Service



National Wildfire Coordinating Group

Les moyens mobiles de lancement des igniteurs sur terre incluent les véhicules ou les hélicoptères (ou autre appareil comparable). La photographie ci-dessous montre une glissière latérale conçue pour relâcher des igniteurs sous forme de sphères plastiques depuis un hélicoptère. Ces igniteurs sont remplis de permanganate de potassium ; Lors du largage, du glycol y est injectés, qui réagit avec le permanganate de potassium afin de créer une réaction exothermique en vue de la mise à feu. L'ignition est retardée de 20 à 40 secondes par la réaction des deux constituants, après ce délai une flamme s'allume et brûle pendant environ deux minutes.

Ci-contre, à droite : véhicule tout terrain transportant un carburant gélifié qui sera appliqué depuis un dispositif lance flamme le long d'une ligne de mise à feu.

À l'extrême droite : une glissière latérale destinée au déploiement d'igniteurs sous forme de sphères plastiques pour une mise à feu aérienne.



Groupe national de coordination des feux de forêt



US National Park Service

Les igniteurs non-commercialisés

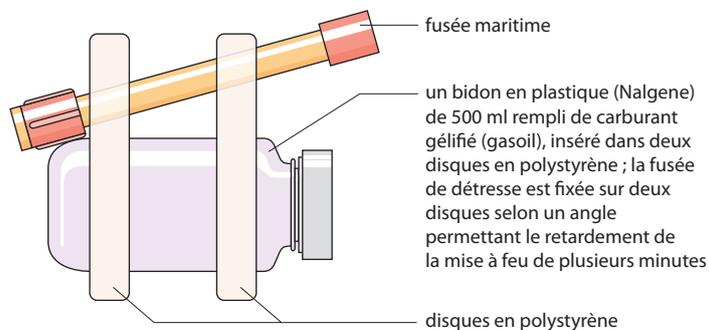
Des méthodes de mise à feu simples et informelles comme des papiers, chiffons ou absorbants imbibés d'hydrocarbures sont également utilisées pour l'ignition des l'hydrocarbures sur les déversements réels ou dans le cadre d'essais. Toute une série de dispositifs portables de mise à feu ont été conçus afin de mettre à feu les nappes d'hydrocarbure. Ces dispositifs :

- pourront être lancés sur une nappe depuis un véhicule, un navire ou un hélicoptère
- sont souvent dotés d'interrupteurs permettant un délai dans l'ignition afin de donner le temps nécessaire pour lancer le dispositif et, si nécessaire, pour garantir que le dispositif flotte sur la nappe, et
- utilisent souvent des propergols solides, des carburants gélifiés, des cubes de kérosène gélifiés, des composés chimiques réactifs ou une combinaison de ces composés, et brûlent de 30 secondes à 10 minutes à des températures comprises entre 1 000 et 2 500 °C.

Il convient de noter que le diesel est plus efficace et sûr que le gasoil si l'on veut imbiber des matériaux avec, ou pour une utilisation comme carburant gélifié dans un igniteur portatif.

La figure 4 ci-dessous illustre un igniteur portatif, qui a été utilisé à l'occasion de plusieurs essais d'ISB. Il se compose d'une bouteille en plastique remplie de gasoil gélifié ou de diesel. La bouteille est attachée à une fusée maritime standard de 15 cm au moyen de deux anneaux en mousse de polystyrène. La fusée est allumée et le dispositif lancé sur la nappe, où il brûlera pendant environ 60 secondes avant que la bouteille en plastique ne fonde et que le gasoil gélifié ne prenne feu, permettant alors la mise à feu de l'hydrocarbure.

Figure 4 Un igniteur fabriqué à partir d'un bidon en plastique et d'une fusée maritime



Source: Environment Canada

Un dispositif similaire à celui figurant sur la Figure 4 a été utilisé pour allumer un brûlage à l'occasion des opérations de lutte de l'accident de Macondo. De tels igniteurs, qui sont relativement facile à fabriquer et à déployer, sont présentés sur les photographies ci-dessous.



Far left: one of the igniters used in ISB operations during the Macondo spill response.

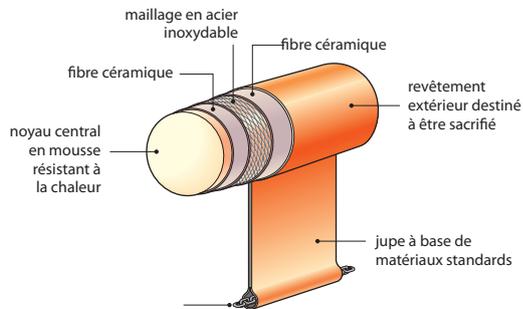
Near left: lighting the fuse (flare) of an igniter before releasing the device onto the water.

Les barrages résistants au feu

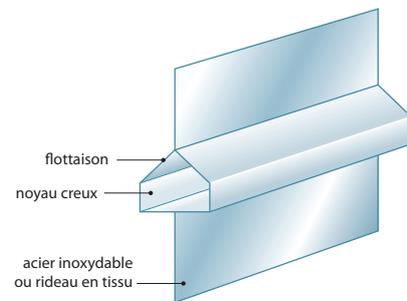
Les barrages de confinement (et ses composants) utilisés dans le cadre des opérations d'ISB devront avant tout résister à la chaleur pendant des périodes prolongées. Les barrages résistants au feu sont généralement conçus pour résister à plusieurs incendies, après quoi ils seront éliminés ou réparés. Différents types de barrages résistants au feu sont illustrés par la figure 5 ci-dessous. Afin de s'assurer que le barrage utilisé dans le cadre de l'ISB sera en mesure de résister à plusieurs brûlages, un test standard a été conçu par l'ASTM afin d'évaluer le niveau de durabilité. Le respect de la norme minimale sera évalué dans le cadre d'un test de cinq heures articulé autour de trois périodes de brûlage d'une heure et deux périodes de refroidissement d'une heure entre les brûlages.

Figure 5 Types de barrages résistants au feu

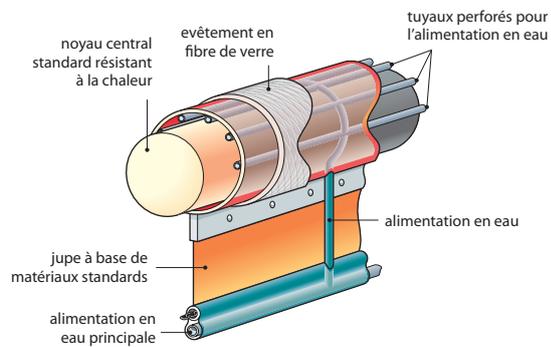
Barrage à base de fibres résistantes à la chaleur



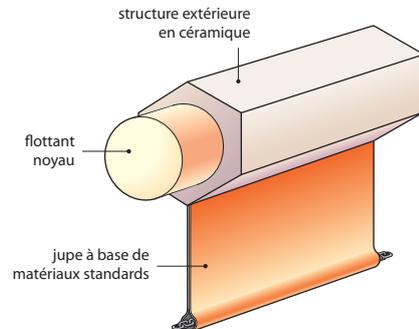
Barrage en acier inoxydable



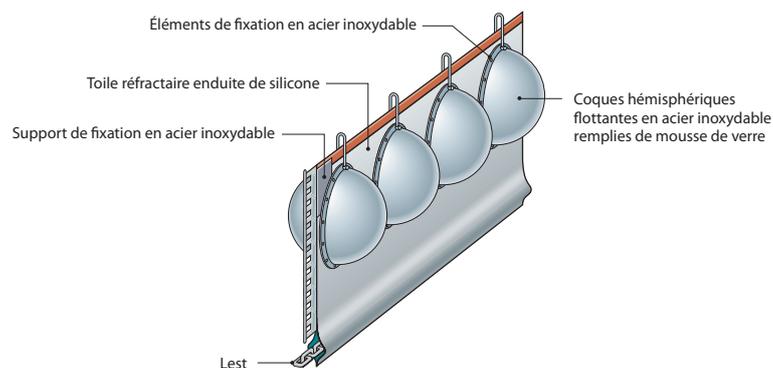
Barrage réfrigérés à l'eau



Barrage céramique



Barrage résistant au feu flottant avec flotteurs hémisphériques en acier inoxydable (« pyroboom »)



La capacité de confinement du barrage résistant au feu sera également essentielle. Les études ont permis de définir les vitesses de remorquage auxquelles les barrages commencent à perdre de l'hydrocarbure (« première perte ») et la vitesse à laquelle une perte continue et significative survient (« perte significative »). Le taux de perte d'hydrocarbures peut également être déterminé à une vitesse de remorquage donnée, ou encore la vitesse à laquelle le barrage fera défaut, c'est-à-dire la vitesse à laquelle le barrage sera submergé ou subira des dommages structurels. Pour plus d'informations sur le déploiement et le remorquage, consultez l'Annexe 2.

Les barrages flottants conventionnels

Un barrage conventionnel ne peut confiner une nappe en cours de combustion dans la mesure où les matériaux le constituant brûleront ou fondront, compromettant ainsi la capacité du barrage à confiner les hydrocarbures. Les barrages conventionnels pourront être utilisés pour entourer une nappe jusqu'à la mise en place d'un barrage résistant au feu. Ils peuvent aussi être utilisés pour faire office de prolongements latéraux d'un barrage résistant au feu, pour permettre le remorquage sur de longues distances.

Les navires de soutien aux opérations d'ISB sur l'eau

Les navires contribuent significativement au succès des opérations d'ISB. Les navires sont nécessaires au transport du matériel et du personnel jusqu'au site de brûlage, au remorquage des barrages et aux opérations de suivi. Des barges et des petits bateaux peuvent également s'avérer nécessaires afin d'assurer la sécurité des postes de surveillance et la mise en œuvre des opérations de suivi, mais aussi pour récupérer les résidus, et stocker les équipements et les hydrocarbures restants.

Un nombre suffisant de navires sera mis à disposition pour transporter et déployer les barrages de confinement, de la longueur nécessaire, sur le site de brûlage. Les navires de soutien devront être également adaptés à leur mission :

- Les navires doivent disposer d'un pont d'une taille suffisante pour transporter les barrages, ainsi que de l'équipement et matériel requis pour la manutention du barrage. Ils doivent être en mesure de se déplacer de manière stable et de faire des manœuvres efficaces à faible vitesse (< 0,5 m/s).
- Les navires à franc-bord réduit (distance entre la ligne de flottaison et le pont principal) permettent un accès plus facile à la surface de l'eau et seront recommandés pour les opérations de récupération des résidus de brûlage. Idéalement, une barge ou un navire de débarquement seront utilisées dans le cadre des opérations de lutte contre le déversement.

Le soutien aux opérations d'ISB par voie aérienne

Les appareils aériens contribuent significativement au succès des opérations d'ISB. Les hélicoptères et les avions peuvent être utilisés dans le cadre de la observation ou afin de photographier un site impacté par le déversement. Ils peuvent également être utilisés pour la mise à feu d'une nappe, faciliter le ciblage de la nappe par les navires ou les autres appareils, soutenir les opérations d'extinction du feu et pour accomplir les opérations de suivi. Pour toute opération aérienne, la mise en place d'une ligne de communication fiable entre le sol et les airs est essentielle.



Observation aérienne le long du périmètre de brûlage.

Le suivi opérationnel en matière de sécurité et de maîtrise des opérations d'ISB

Le suivi permet de fournir des informations sur l'efficacité du brûlage, de maintenir un niveau appropriée de vigilance afin d'assurer le personnel de lutte situés à proximité du feu et de maîtriser le brûlage. Le tableau 7 résume les points essentiels d'une opération de brûlage qui doivent faire l'objet d'un suivi.

Tableau 7 Aspects faisant l'objet d'opérations de suivi lors d'un ISB

Aspect	Cibles observées	Interprétation
Sécurité incendie	Distance entre le personnel et le site de brûlage	Danger pour les hommes, les infrastructures et les équipements collectifs
	Contrôle et mouvement du feu	
Intégrité des barrages de confinement résistants au feu	Barrage perdant sa capacité à confiner la nappe	Avertir de manière anticipée les intervenants et le personnel de lutte sur les navires
Efficacité du brûlage	Zone souillée enflammée et brûlage prolongé	Efficacité en terme d'élimination des hydrocarbures ; volume d'hydrocarbures brûlés.
Émissions générées par le brûlage	Particules	Suivi de l'exposition des intervenants/public

L'exposition de le personnel de lutte à la chaleur

Les exigences en matière de sécurité et de réduction de l'exposition à la chaleur pour le personnel de lutte doivent être parfaitement comprises. En règle générale, le personnel de lutte devront rester en arrière de l'incendie, à une distance équivalente à quatre fois la hauteur maximale des flammes. La vitesse de propagation des flammes s'élève en général à 0,02 – 0,16 m/s. Cependant, cette vitesse pourrait augmenter sous l'action du vent. Les autres facteurs à prendre en compte incluent :

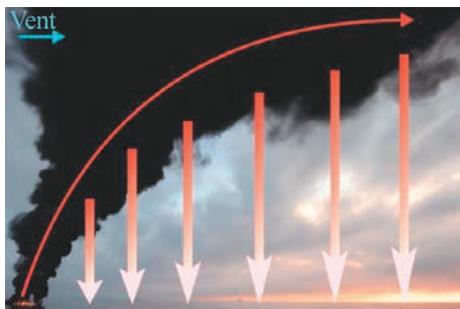
- Sur terre, les incendies peuvent progresser rapidement si des matériaux combustibles comme les arbres ou les herbes se trouvent à proximité. Un coupe-feu approprié doit être mis en place avant la mise à feu afin de garantir la plus grande maîtrise du brûlage et la protection contre la chaleur.
- Les équipages à bord des navires participant aux opérations de remorquage peuvent être exposés à des risques inhérents à l'incendie ou aux flammes dans l'hypothèse où les flammes remonteraient le long du barrage. Ceci peut se produire dans le cas où le barrage rencontrerait des plaques épaisses et où les flammes se propageraient le long de telles plaques. Les flammes ne se propageront pas vers les navires de remorquage si celui-ci est remorqué à une vitesse d'au moins 0,4 m/s (0,7 noeud) contre le vent. Dans des conditions de vent variables, il conviendra de faire preuve de la plus grande prudence afin de s'assurer que des fortes concentrations d'hydrocarbures en plaque épaisses ne seront pas collectées alors que la vitesse de remorquage est faible.

Le comportement et la dispersion des émissions issues d'ISB

Les principales préoccupations sanitaires suscitées par un ISB sont liées aux émissions générées par un brûlage. Les mesures empiriques des émissions ont révélé que leurs concentrations se dissipent rapidement dans l'atmosphère, avec la distance au site de brûlage. Il conviendra de s'assurer que le brûlage demeure à une distance minimale des sites habités ou sensibles afin de réduire les risques en matière de sécurité. Les émissions et les distances de sécurité sous le vent du brûlage peuvent être estimées pour des brûlages de dimensions et de types différents. Par exemple, un brûlage d'hydrocarbure brut (500 m²) ne générera pas d'émissions où les concentrations seraient supérieures aux seuils représentant un danger pour la santé au delà de 500 m de l'incendie environ. La combustion des hydrocarbures générera avant tout du dioxyde de carbone et de l'eau, ainsi que des sous-produits comme les particules (sues), des composés organiques ou des gaz.

Le suivi du comportement des émissions de brûlage constitue un aspect essentiel en matière de suivi des opérations d'ISB. Les émissions les plus importantes sont celles de particules de suies (PM) : elles s'élèveront dans le panache pour retomber ensuite au sol sous forme de précipitations (image 7). Il est estimé que sur une distance d'1 km, la moitié des particules du panache seront précipitées au sol (en fonction de la vitesse du vent). Certaines particules demeureront en suspension dans le panache de fumée pendant une période prolongée. Le panache en lui-même n'est pas dangereux pour les hommes dans la mesure où il monte en altitude et on n'y trouve pas des niveaux d'exposition préoccupants.

Figure 7 Comportement de différents composés émis par la combustion dans un panache de fumée



a) Les particules ainsi que les substances organiques adsorbées, par ex. les HAP, s'élèvent avec le panache pour retomber ensuite dans le sens du vent.



b) La vapeur d'eau et les gaz légers montent puis sont transportés et diffusés.



c) Le dioxyde de carbone et les autres gaz lourds s'élèvent puis chutent lentement, ils peuvent circuler au sein du feu.



d) Les gaz organiques comme les COV et les composés carbonylés sont diffusés et dilués.

Merv Fingas

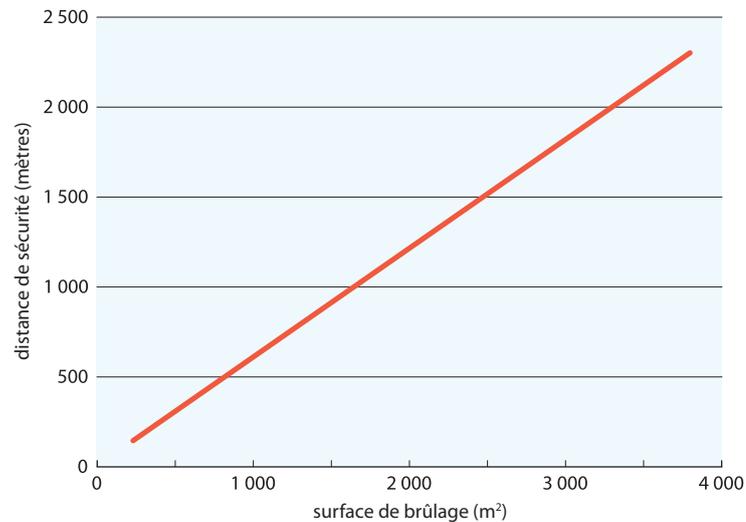
Les particules fines

L'ISB produit des particules fines qui constituent les émissions des brûlages suscitant le plus de préoccupations en matière de santé humaine. Les particules fines se répandent de manière exponentielle sous le vent de l'incendie. Les concentrations au niveau du sol (1 m) pourraient atteindre des niveaux supérieurs à ceux représentant un risque pour la santé humaine ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$) même sous le vent, à plus de 500m d'un petit brûlage d'hydrocarbure brut. Les particules plus petites et « respirables », comme le $\text{PM}_{2,5}$ (particules d'une taille inférieure à $2,5 \mu\text{m}$) suscitent encore plus d'inquiétudes. Il convient de noter que souvent ces particules ne sont pas visibles sous la forme d'un panache de fumée, même à des concentrations supérieures aux seuils.

Les distances de sécurité

Des données permettant de prédire les concentrations de plus de 150 composés et des principaux groupes de composés chimiques, sont disponibles. Les données ont été collectées à des vitesses de vent entre 2 et 5 m/s (4 à 10 nœuds), sans aucune inversion de température. Des méthodes de calcul pour les constituants émis les plus courants et certains composés spécifiques sont fournies dans la *Bibliographie* disponible en page 39.

Figure 8 Distances de sécurité sous le vent de sites de brûlage de tailles différentes



Les distances de sécurité sous le vent d'une opération de brûlage d'hydrocarbures bruts (sur la base de concentrations de $PM_{2,5}$) ont été estimées à lors de nombreux essais de brûlage sur l'eau, durant lesquelles les vents variaient entre 2 et 10 m/s (environ 4 à 20 nœuds) – voir figure 8. La distance sécurité pour les opérations correspond à la distance sous le vent au-delà de laquelle le port du masque respiratoire à particules ne sera plus nécessaire. Bien que les résultats se basent sur les données recueillies dans le cadre d'opérations sur l'eau, les distances ainsi estimés sont aussi applicables aux brûlages sur terre, pour les différentes tailles de brûlages. Cependant, il conviendra de noter que :

- ces distances seront plus importantes en cas de vents forts alors que des vents faibles réduiront ces distances, et
- ces distances ne sont pas applicables en cas d'inversion de température dans la mesure où le panache de fumée pourrait rester au niveau du sol.

Le suivi et l'échantillonnage des émissions

Un programme de suivi bien planifié, dans le cadre duquel les données sont consignées avant, pendant et après brûlage, permettra de documenter l'opération de brûlage et de répondre aux questions soulevées après celle-ci. Le suivi et l'échantillonnage consisteront au moins en :

- le suivi visuel du panache de fumée, sa trajectoire et ses impacts potentiels sanitaires et environnementaux (les heures et les emplacements seront documentés) : et
- le suivi des particules de $2,5 \mu m$ ($PM_{2,5}$) sous le vent du brûlage avec un moniteur positionné à 1,5 m du sol, et notamment entre 1 et 3 kilomètres sous le vent du brûlage, à la hauteur du capteur, sur tous les sites potentiels présentant un impact pour les hommes.

Des conditions météorologiques variables peuvent considérablement modifier la précipitation des particules fines d'un panache. Dans certains cas, un panache pourrait descendre au niveau du sol. Les experts en météorologie seront consultés afin d'obtenir des prévisions sur le temps et les vents ainsi que des informations sur les potentielles inversions de températures.

Le suivi visuel

Les données recueillies dans le cadre du suivi visuel de la trajectoire d'un panache de fumée et son passage au-dessus du sol, des zones peuplées et d'autres zones d'intérêt seront dûment consignées et datées. Ces informations seront très utiles pour répondre aux questions sur une exposition potentielle aux émissions d'un brûlage *in-situ*. Les principales zones où les particules sont susceptibles de se déposer seront surveillées après tout brûlage afin de détecter d'éventuels dépôts de suies. Si des suies sont détectées, des échantillons devront être collectés et éventuellement analysés ultérieurement, si cela est jugé nécessaire.

Le suivi en temps réel

Si requis par les autorités, ou dans le cas où la trajectoire du panache générerait un risque d'exposition de populations sensibles, un suivi en temps réel des émissions doit être mis en œuvre sous le vent de l'incendie et à un point situé à proximité des zones habitées. Les concentrations de particules sous le vent du brûlage peut varier au fil du temps. Les concentrations pourraient être supérieures à la valeur maximale recommandée à un moment précis puis sous les seuils de référence à un autre moment. Les niveaux naturels doivent être mesurés et soustraits aux valeurs observées. Les mesures doivent être enregistrées et afin de calculer des moyennes pondérées dans le temps à partir de ces données consignées et corrigées. Certains instruments permettent d'obtenir des moyennes glissantes applicables à un usage en temps réel. Dans le cadre du suivi des particules fines, la concentration de particules affichant un diamètre inférieur ou égal à $2.5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2.5}$) devra être en dessous de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une période de 24 heures. Il s'agit d'une norme utilisée par de nombreuses autorités.

Il existe diverses méthodes de collecte et d'analyse des prélèvements afin de caractériser les émissions générées par les ISB. Voir aussi la *Bibliographie* à la page 39 pour obtenir des sources d'information sur les prélèvements d'émission.



Station de suivi de la qualité de l'air au Parc national de Great Smoky Mountains, en Caroline du Nord et dans le Tennessee

Le suivi opérationnel

Le suivi opérationnel vise à:

- conduire à une mise à feu réussie,
- documenter les opérations de brûlage et leur progression,
- estimer la surface de la zone de brûlage à des intervalles de temps donnés afin d'évaluer la quantité brûlée (les abaques en Annexe 1 pourront être utilisées pour estimer la zone de brûlage et le volume d'hydrocarbure éliminé). Chaque site de brûlage doit être documenté environ toutes les 10 minutes pour les brûlages petits et brefs. Les brûlages plus importants et plus longs peuvent être documentés à des intervalles plus longs. Des photographies des opérations de brûlage seront prises à des intervalles donnés. L'utilisation d'appareils permettant la géolocalisation GPS et l'horodatage des photos est recommandée.
- Sur les terres et les côtes – afin de garantir la sécurité des équipes de brûlage et de leurs véhicules, suivre la trajectoire d'un panache de fumée et sa proximité par rapport aux zones résidentielles, et émettre des alertes anticipées sur les dangers et agir, si nécessaire (par exemple afin de procéder à une évacuation ou éteindre un brûlage de manière anticipée).
- En mer – afin d'orienter l'équipage des navires de remorquage et ainsi optimiser la vitesse et le volume de collecte des hydrocarbures au sein des barrages résistants au feu.

En mer, deux tactiques de observation pourront être appliquées :

1. la surveillance aérienne, et
2. la observation depuis un grand navire.

L'avion offre une vision beaucoup plus globale qu'un navire évoluant à la surface de l'eau. Cela pourrait s'avérer crucial lorsqu'il s'agit d'observer l'efficacité d'un barrage ou les opérations de brûlage. Un navire de grande taille, non remorqueur, pourra en outre fournir une bonne vue sur les opérations de remorquage depuis la surface de l'eau. Il pourra être équipé canons à eau afin d'améliorer les capacités de lutte incendie. Un tel navire constitue un dispositif de secours dans le cas où le navire de remorquage rencontrerait des difficultés.

Bibliographie

Générale

Alaska Regional Response Team (ARRT) (2010). *Chemical Countermeasures: Dispersants, Chemical Agents, and Other Spill Mitigating Substances, Devices or Technology*. Annex F, *Unified Plan*, Alaska, 126 pp.
[http://dec.alaska.gov/spar/perp/plans/uc/Annex%20F%20\(Jan%2010\).pdf](http://dec.alaska.gov/spar/perp/plans/uc/Annex%20F%20(Jan%2010).pdf)

ARPEL (2006). *A Guide to In-situ Burning of Oil Spills on Water, Shore, and Land*. Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean (ARPEL) Bonnes pratiques environnementales 40-2006. Novembre 2006, 47 pp.

ARPEL (2007). *In-situ Burning: A Cleanup Technique for Oil Spills*. Regional Association of Oil and Natural Gas Companies in Latin America and the Caribbean. Bonnes pratiques environnementales 28-2007. Février 2007, 127 pp.

ASTM (2013). ASTM F1990-07(2013), *Standard Guide for In-Situ Burning of Spilled Oil - Ignition Devices*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F1990.htm

ASTM (en préparation). ASTM WK37324, *Standard Guide for Evaluation of ISB Effectiveness*. ASTM International, Conshohocken, PA.

IPIECA-IOGP (2015). *Response strategy development using net environmental benefit analysis (NEBA)*. IPIECA-IOGP Good Practice Guide Series, Oil Spill Response Joint Industry Project (OSR-JIP). Rapport 527 de l'IOGP.
<http://oilspillresponseproject.org/completed-products>

ITOPF (2011). *Fate of Marine Oil Spills*. Fiche d'information technique numéro 2. International Tanker Owners Pollution Federation Limited, Londres.
www.itopf.com/fileadmin/data/Documents/TIPS%20TAPS/TIP2FateofMarineOilSpills.pdf

National Institute of Standards and Testing: compilation de références à l'adresse :
www.fire.nist.gov/bfrlpubs/fireall/key/key1351.html

Les brûlages en mer : références générales

API (2015). *Field Operations Guide for In-Situ Burning of On-water Oil Spills*. Publication No 1252. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 72pp.

Arctic Response Technology (2013). *In-Situ Burning in Ice-Affected Waters: State of Knowledge Report*. Rapport final 7.1.1 de l'Arctic Oil Spill Response Joint Industry Programme. Préparé pour le compte de l'IOGP. 293 p.
www.arcticresponsetechnology.org/project-updates/in-situ-burning-of-oil-in-ice-affected-waters/report-on-in-situ-burning-in-ice-affected-waters-state-of-knowledge-report

Arctic Response Technology (2013). *In Situ Burning in Ice-Affected Waters: A Technology Summary and Lessons from Key Experiments*. Rapport final 7.1.2 de l'Arctic Oil Spill Response Joint Industry Programme. Préparé pour le compte de l'IOGP. 67pp. www.arcticresponsetechnology.org/project-updates/in-situ-burning-of-oil-in-ice-affected-waters/report-on-in-situ-burning-in-ice-affected-waters-a-technology-summary-and-lessons-from-key-experiments

ASTM (2013). ASTM F2152-07(2013), *Standard Guide for In-Situ Burning of Spilled Oil: Fire-Resistant Boom*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2152.htm

ASTM (2008). ASTM F1788-08, *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills on Water: Environmental and Operational Considerations*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/F1788-08.htm

ASTM (2014). ASTM F2230-14, *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills on Water: Ice Conditions*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2230.htm

Buist, I. A., Potter, S. G., Trudel, B. K., Walker, A. H., Scholz, D. K., Brandvik, P. J., Fritt-Rasmussen, J., Allen, A. A. and Smith, P. (2013). *In-Situ burning in Ice-Affected Waters: A Technology Summary and Lessons from Key Experiments*. Rapport final 7.1.2. Rapport du Joint Industry Programme sur les études scientifiques et les tests en laboratoire et de terrain sur le recours aux brûlages *in-situ* dans les environnements off-shore recouverts par la glace.

Fingas, M. (2011). « ISB », Chapitre 23 dans *Oil Spill Science and Technology*. M. Fingas, Editor, Gulf Publishing Company, New York, pp. 737-903.

Mabile, N. (2012). ISB contrôlé : Transition from alternative technology to conventional spill response option. Dans *Proceedings of the 35th AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response*, pp. 584-605.

OSRL (2011). *Offshore In-Situ Burn Operations Field Guide: A guide to operational and monitoring requirements for In-Situ burning at sea*. Oil Spill Response Limited, 20pp.

Brûlages : émissions

API (en cours de préparation). *In-Situ Burning of Petroleum: Comparison of Emissions from burning of Petroleum, Petroleum-Derived Fuels and other Fuel types*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

Fingas, M. F. and Punt, M. (2000). *ISB: A Cleanup Technique for Oil Spills on Water*. Environment Canada Special Publication, Ottawa, Ontario, 214 pp.

Fingas, M. F., Lambert, P., Wang, Z., Li, K., Ackerman, F., Goldthorp, M., Turpin, R., Campagna, P., Nadeau, R. and Hiltabrand, R. (2001). Études des émissions des feux d'hydrocarbure. Dans *Proceedings of the Twenty-Fourth Arctic and Marine Oil Spill Program Technical Seminar*, Environment Canada, Ottawa, Ontario, pp. 767-823.

Les brûlages terrestres: aspects généraux

API (2015). *Field Operations Guide for In-Situ Burning of Inland Oil Spills*. Publication No 1251. American Petroleum Institute, Washington, D.C., 81 pp.

Brûlage contrôlés : aspects généraux

US Department of Agriculture, Forest Service (2006). Prescribed Fire Case Studies, Decision Aids and Planning Guides. In *Fire Management Today*, Vol. 66, No. 1, Winter 2006, pp. 5-20. http://www.fs.fed.us/fire/fmt/fmt_pdfs/FMT66-1.pdf

Oklahoma State University (2009). *Oklahoma Prescribed Burning Handbook*. Document ref. E-1010. Dernière mise à jour 2014. 64 pp. <http://pods.dasnr.okstate.edu/docushare/dsweb/Get/Document-6613/E-1010>

Southeast Queensland Fire and Biodiversity Consortium (2002). *Fire Management Operational Manual: Guidelines for planning and conducting fuel reduction and ecological burns on your property*. Queensland, Australia. 102 pp. www.fireandbiodiversity.org.au/_literature_47142/Operational_Fire_Manual.

Fire Paradox (site internet). *Handbook to Plan and Use Prescribed Burning in Europe*. Fire Paradox—un projet de la Commission européenne. www.fireparadox.org/handbook_prescribed_burning_europe.php

US Department of Agriculture, Forest Service (2006). Problème de la fumée et de la qualité de l'air. Dans *Fire Management Today*, Vol. 33 N° 3. <http://www.fs.fed.us/fire/fmt/>

Coupe-feu

Gouvernement de l'Australie occidentale (2011). *Firebreak Location, Construction and Maintenance Guidelines*. Fire and Emergency Services Authority of Western Australia, 28 pp. http://www.dfes.wa.gov.au/safetyinformation/fire/bushfire/BushfireProtectionPlanningPublications/FESA%20Firebreak%20Guidelines_std.pdf

Le brûlage en zone marécageuse

API (2003). *Recovery of Four Oiled Wetlands Subjected To In Situ Burning*. Publication No. 4724, Washington, D.C., June 2003. 71 pp.

ASTM (2010). ASTM F2823-10(2015), *Standard Guide for In-Situ Burning of Oil Spills in Marshes*. ASTM International, Conshohocken, PA. www.astm.org/Standards/F2823.htm

Sécurité et suivi

API (en cours de préparation). *In-situ Burn Guidance for Safety Officers and Safety and Health Professionals*. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

BP (2013). *Controlled ISB Operations Monitoring Handbook*. Prepared par Midlinx Consulting Inc. pour British Petroleum, Houston, Texas.

IPIECA-IOGP (2008). *Health aspects of work in extreme climates*. Rapport 398 de l'IOGP

Les effets sur les animaux et les plantes

API (1999). *Compilation and Review of Data on the Environmental Effects of In Situ Burning of Inland and Upland Oil Spills*. Publication No. 4684. American Petroleum Institute, Washington, D.C.

US Department of Agriculture, Forest Service (website). Fire Effects Information System (FEIS). www.feis-crs.org/beta

Modèles

US Department of Agriculture, 'Fire, Fuel, and Smoke Science Program': www.firelab.org/applications

US Department of Agriculture, 'First Order Fire Effects Model (FOFEM)': www.firelab.org/project/fofem

Annexe 1 : Estimation de la quantité d'hydrocarbures brûlés et de l'efficacité du brûlage

En mer, le taux de couverture par les hydrocarbures en train de brûler au sein d'un barrage ainsi que la durée du brûlage sont documentées à l'aide d'un modèle similaire à celui présenté à la page 43 sur la figure A1. Ces informations peuvent être utilisées pour calculer la quantité d'hydrocarbure brûlée. La surface peut être calculée sur comme sur la figure A1 et du tableau A1. Les vitesses de brûlage sont répertoriées dans le Tableau 3, à la page 8.

La procédure est la suivante :

À l'aide du taux de couverture par les hydrocarbures au sein des barrages renseigné durant le brûlage, la surface de couverture par les hydrocarbures peut être estimée en utilisant le Tableau A1. La durée de brûlage pour ce taux de couverture donné est alors multipliée par la vitesse de brûlage de ce type d'hydrocarbure (voir le tableau 3) afin d'obtenir la quantité totale d'hydrocarbure brûlé. Toutes les durées et les surfaces recouvertes par les hydrocarbures au sein des barrages sont calculés de cette façon puis additionnés. Le résultat final correspond à une estimation de la quantité d'hydrocarbure brûlée.

Le volume d'hydrocarbures brûlés peut être calculé au moyen de l'équation 1, tel qu'il suit :

Équation 1: **Volume du brûlage = Surface x durée x vitesse x coefficient de conversion**
où le coefficient de conversion des unités métriques est de **0,001** pour obtenir un volume en m³ et de **0,0006** pour une conversion en unités impériales pour obtenir un volume en barils (surface étant exprimée en pied carré, mais la vitesse de brûlage étant exprimée en mm/minute)

Exemple :

Durant un brûlage, les abaques illustrés par la figure A1 indiquent qu'environ la moitié de la surface au sein d'un barrage de 150 m composé d'un hydrocarbure brut moyen a été éliminée en 21 minutes.

- Le tableau A1 a permis d'obtenir une superficie d'environ 1 220 m², alors qu'une vitesse de brûlage d'environ 3,5 mm/min a été calculée grâce au tableau 3.
- La quantité brûlée sera dès lors calculée de la façon suivante : 1 220 x 21 x 3,5 x 0,001 = 89,7 m³ (560 barils).

L'efficacité du brûlage sera exprimée comme la part d'hydrocarbure éliminée comparée à la quantité de résidu perdurant après le brûlage. L'efficacité du brûlage, **E**, pourra être calculée au moyen de l'Équation 2 (ci-dessous), avec v_{oi} représentant le volume initial d'hydrocarbures à brûler et v_{of} le volume d'hydrocarbure résiduel perdurant après le brûlage :

Équation 2:
$$E = \frac{v_{oi} - v_{of}}{v_{oi}}$$

Le volume initial d'hydrocarbure, v_{oi} , pourra être estimé de nombreuses façons :

- Dans le cas où la source du déversement serait connue et dans une situation incluant un navire ou un dépôt de stockage, le volume déversé pourra être estimé à partir des dimensions du réservoir et de la quantité d'hydrocarbure demeurant dans le réservoir.
- Dans le cas d'une plate-forme offshore, la vitesse de déchargement pourra être utilisée pour déterminer le volume initial. Ce volume, combiné à la surface de la nappe et à une estimation de l'épaisseur moyenne de l'hydrocarbure, pourra être utilisé pour déterminer le volume d'une nappe.

Dans le cas d'un brûlage en mer réalisé au moyen d'un barrage flottant, la quantité brûlée et l'estimation de la quantité de résidu pourront fournir les données nécessaires au calcul de l'équation 2. Les déversements sur terres ou sur les marais ne pourront être estimés selon les procédures ci-dessus dans la mesure où une quantité importante de végétaux sera brûlée.

Figure A1 Abaques utilisées afin de consigner les surfaces de brûlage et calculer postérieurement les surfaces de brûlage

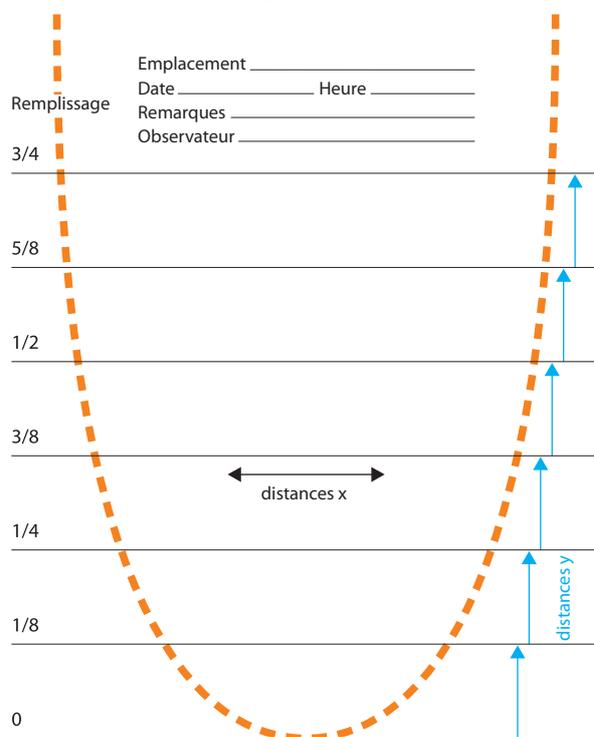


Tableau A1 Conversion du taux de couverture par les hydrocarbures au sein des barrages en forme de u

a) **Système métrique** : Dimensions des barrages = ouverture de 150 m – 50 m et ouverture de 200 m – 66 m

Taux de couverture par les hydrocarbures	Longueur (m)	Largeur (m)	Surface de brûlage (m ²)	Longueur (m)	Largeur (m)	Surface de brûlage (m ²)
3/4 trois quarts	51	48	2 020	68	64	3 590
5/8 cinq huitièmes	43	46	1 610	57	61	2 860
1/2 un demi	34	44	1 220	45	59	2 170
3/8 trois huitièmes	26	41	860	35	55	1 530
1/4 un quart	17	38	530	23	51	940
1/8 un huitième	9	32	220	12	43	390

b) **Système impérial** : Dimensions des barrages = ouverture de 500 ft – 166 ft et ouverture de 700 ft – 233 ft

Taux de couverture par les hydrocarbures	Longueur (m)	Largeur (m)	Surface de brûlage (m ²)	Longueur (m)	Largeur (m)	Surface de brûlage (m ²)
3/4 trois quarts	165	156	21 000	231	218	41 200
5/8 cinq huitièmes	137,5	149	16 800	193	209	32 900
1/2 un demi	110	142	12 700	154	199	24 900
3/8 trois huitièmes	82,5	132	9 000	116	185	17 600
1/4 un quart	55	122	5 500	77	171	10 800
1/8 un huitième	27,5	102	2 300	39	143	4 500

Annexe 2 : Déploiement des barrages flottants et configurations de remorquage

Le déploiement des barrages dans le cadre des opérations d'ISB

Les procédures de déploiement des barrages de confinement résistants au feu dépendent du type de barrage utilisé. Les barrages réfrigérés à l'eau sont en principe gonflables et pourront dès lors être stockés et déployés à l'aide de tourets enrouleurs. Cependant, ces barrages requièrent parfois un espace important sur le pont pour l'installation du système de réfrigération à eau après déploiement du barrage depuis le touret enrouleur.

Les barrages en acier inoxydable et les barrages résistants à la chaleur sont rigides et seront dès lors stockés par sections à l'intérieur d'un container. Un espace suffisant sur le pont est là encore nécessaire afin de raccorder les sections à l'occasion du déploiement. Du fait de leur rigidité et de leur poids, un treuil ou une grue est en principe nécessaires pour procéder à leur déploiement.

Les barrages peuvent être endommagés à l'occasion du déploiement et de la récupération. Il faut porter une attention particulière et s'assurer que le barrage est déplacé lentement et qu'il est manipulé avec précaution. Par exemple, les fixations et crochets d'une grue peuvent endommager un barrage si bien qu'il est préférable d'utiliser un filet de levage. Les photographies ci-dessous représentent les différentes méthodes de déploiement des barrages.

À droite, ci-contre :
déploiement d'un
barrage à l'arrière
d'un navire de
support.

À l'extrême droite :
déploiement d'un
barrage résistant
au feu à l'aide
d'une grue.



Elastec Inc.



Desmi-AFTI

Les barrages de confinement sont en principe constitués de plusieurs sections raccordées entre elles. De nombreux barrages résistants au feu sont équipés de connecteurs standards ou peuvent se connecter à adaptateurs compatibles avec les connecteurs standards. Ces connecteurs permettent de relier différents types de barrages avec simplicité et en toute sécurité. Si plus d'un type de barrage est utilisé pour les opérations de confinement, il sera nécessaire de contrôler les raccordements entre barrages afin de s'assurer qu'ils puissent être correctement attachés.

Voici la procédure typique pour déployer un barrage flottant en eaux libres depuis un navire, pour la mise en place d'une configuration standard en U.

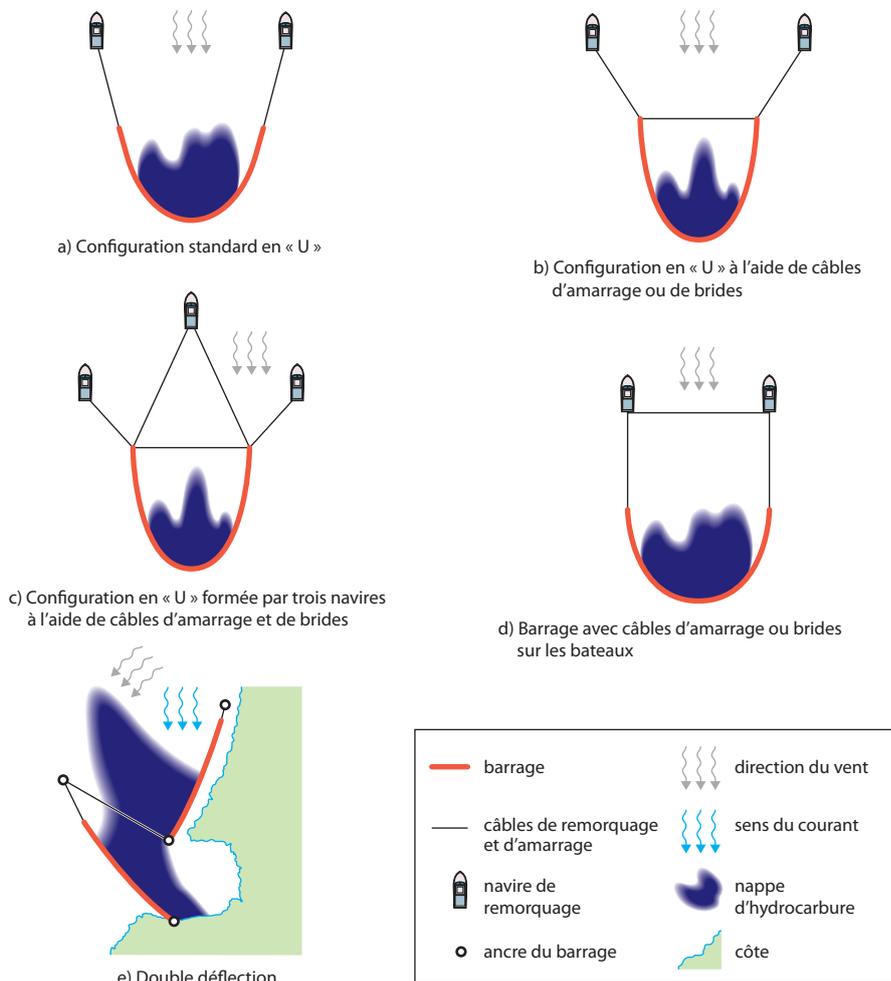
- Le navire de déploiement se positionne sous le vent, à une distance suffisante de la nappe d'hydrocarbures si bien qu'il dispose de suffisamment de temps pour déployer le barrage avant de d'atteindre la nappe.
- Le navire de déploiement se positionne de manière à ce que sa proue soit située face au vent.
- Avant le déploiement de la première partie du barrage depuis le pont, cette extrémité du barrage est attachée à un navire en charge de déployer le barrage.

- Le barrage est déployé depuis la poupe du premier navire de façon à ce que le barrage traîne à l'arrière sous l'action du vent.
- Après le déploiement de la dernière section, l'extrémité du barrage est attachée au moyen d'un câble de remorquage au navire de déploiement, qui deviendra alors l'un des navires de remorquage. Dans le cas où un autre navire que le navire de déploiement est utilisé pour le remorquage, celui-ci récupérera le câble de remorquage auprès du navire de déploiement.
- Le câble de remorquage situé à l'autre extrémité du barrage sera alors attaché au second navire de remorquage.
- Le second navire de remorquage remontera au vent jusqu'à la formation d'une configuration en U correcte.

Les configurations de remorquage des barrages résistants au feu

La taille du barrage requis dans le cadre du brûlage *in-situ* dépendra de la quantité d'hydrocarbures à brûler. De manière générale, la longueur d'un barrage ira de 150 m à 300 m (500 à 1 000 pieds). La plupart des barrages commercialisés sont disponibles dans les longueurs standard de 15 et 30 m (50 et 100 pieds). De manière générale, la nappe d'hydrocarbures situés au sein du barrage ne pourra occuper plus des deux-tiers de la surface contenue dans le U formé par le barrage (figure A2).

Figure A2 Configurations de remorquage de barrages résistants au feu



Un brûlage in-situ sur l'eau à l'intérieur d'un barrage résistants au feu déployé selon une configuration standard en forme de « U ».



Elastec Inc.

La longueur des lignes de remorquage des bateaux de remorquage ne saurait être inférieure à 75 m (150 pieds). Le barrage sera toujours remorqué face au vent si bien que le panache de fumée sera orienté dans la direction opposée aux bateaux. Comme les vitesses de remorquage mesurées sont relatives au courant, le barrage sera remorqué très lentement voire même dans le sens du vent, afin de maintenir une vitesse suffisamment lente par rapport au courant lors du remorquage face au vent.

En général, les barrages seront remorqués à une vitesse inférieure à 0,4 m/s (< 0,7 nœuds) afin de prévenir les pertes d'hydrocarbures par-dessus le barrage ou d'éviter l'immersion du barrage. Les facteurs ci-dessous seront également pris en compte :

- La configuration standard du remorquage se composera d'un barrage résistant au feu attaché à deux navires au moyen de câbles de remorquage fixées à ses deux extrémités, afin de former un « U », comme illustré par la figure A2 (a).
- Un câble d'amarrage ou une bride transversale pourront être attachés de chaque côté du barrage, plusieurs mètres derrière les navires de remorquage, afin de s'assurer que le barrage conserve sa forme en « U », tel qu'illustré par la figure A2 (b). Le câble de remorquage ou la bride transversale s'avéreront très utiles pour maintenir le niveau d'ouverture approprié mais aussi pour empêcher la formation accidentelle d'une configuration en « J ».
- Dans le cadre de la configuration standard en « U », le déplacement des deux navires de remorquage à la même vitesse pourrait s'avérer difficile. Pour résoudre ce problème et optimiser le niveau de contrôle sur la configuration du barrage, trois navires pourront être utilisés tel qu'illustré par la figure A2 (c). Un navire remorquera le barrage en tirant depuis le centre au moyen de câbles de remorquage à chaque extrémité du « U », alors que les deux autres navires tireront l'extérieur des extrémités du barrage afin de maintenir la forme en « U ».
- Le câble d'amarrage pourra également être attaché aux navires tel qu'illustré par la figure A2 (d). Les intervenants du bateau pourront détacher le câble d'amarrage très rapidement en cas d'urgence ce qui constitue le principal atout de cette méthode.
- En présence d'un hydrocarbure déversé dans les eaux côtières, un barrage (ou des barrages) pourra être utilisé pour le détourner vers une zone calme, comme une baie, ou les hydrocarbures seront brûlés. Un exemple de cette méthode utilisant deux barrages est illustré par la figure A2 (e). Les barrages de déflexion seront positionnés de façon à former un angle avec les courants suffisamment important pour détourner la nappe d'hydrocarbures, mais pas assez grand pour provoquer le dysfonctionnement du barrage sous l'action du vent. Le barrage sera maintenu dans sa position soit au moyen d'ancres, de navires ou de câbles attachés à la côte.

La vitesse de remorquage pourra être augmentée périodiquement dans le cas où la zone de brûlage aurait tendance à occuper plus de deux-tiers de l'espace situé à l'intérieur du barrage. Dans le cas où les hydrocarbures confinés seraient entraînés dans la colonne d'eau en-dessous du barrage, ou s'ils étaient projetés par-dessus le barrage, ils remonteront à la surface ou s'accumuleront directement derrière la pointe du barrage. Cet hydrocarbure non confiné pourra être potentiellement enflammé sous l'action de l'hydrocarbure brûlant à l'intérieur du barrage ou par l'hydrocarbure enflammé projeté au-delà du barrage.

Remerciements

Le présent document a été élaboré par Merv Fingas (Spill Science) et modifié par Alexis Steen (ExxonMobil) président le groupe sur les brûlages *in-situ*. Nous remercions les contributeurs ci-dessus pour leur expertise, leur participation et les conseils qui ont été mis à profit lors de la rédaction du présent document.

La page a été intentionnellement laissée vierge

La page a été intentionnellement laissée vierge

IPIECA

L'IPIECA est l'association internationale de l'industrie pétrolière pour la sauvegarde de l'environnement et les questions sociales. Elle développe, diffuse et promeut les bonnes pratiques et les connaissances afin de permettre à l'industrie d'améliorer ses performances environnementales et sociales. Elle constitue le principal canal de communication de l'industrie avec les Nations-Unies. Grâce à ses groupes de travail conduits par les membres et à sa direction, l'IPIECA rassemble l'expertise collective des entreprises et associations pétrolières et gazières. Sa position unique dans l'industrie permet à ses membres de répondre efficacement aux enjeux clés en matière environnementale et sociétale.

www.ipieca.org



L'IOGP représente le secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière devant les organisations internationales, y compris l'Organisation maritime internationale, le Programme environnemental des Nations Unies (UNEP), les Conventions régionales dans le domaine marin et les autres groupes sous l'égide des Nations-Unies. Au niveau régional, l'IOGP représente l'industrie auprès de la Commission européenne, du Parlement européen et de la Commission OSPAR pour l'Atlantique Nord-Est. Tout aussi important est le rôle de l'IOGP pour la promulgation des meilleures pratiques, en particulier dans les domaines de la santé, de la sécurité, de l'environnement et de la responsabilité sociale.

www.iogp.org.uk

