

Surveillance de surface et sous-marine des déversements d'hydrocarbures en mer

Guide de bonnes pratiques en matière de gestion des
situations d'urgence et du personnel d'intervention
d'urgence



IPIECA

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

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, Londres 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)

Siège social

Étage 14, City Tower, 40 Basinghall Street, Londres EC2V 5DE, Royaume-Uni

Téléphone : +44 (0)20 3763 9700 Télécopieur : +44 (0)20 3763 9701

E-mail : reception@iogp.org Internet : www.iogp.org

Bureau de Bruxelles

Boulevard du Souverain 165, 4e étage, B-1160 Bruxelles, Belgique

Téléphone : +32 (0)2 566 9150 Télécopieur : +32 (0)2 566 9159

E-mail : reception@iogp.org

Bureau de Houston

10777 Westheimer Road, Suite 1100, Houston, Texas 77042, États-Unis

Téléphone : +1 (713) 470 0315 E-mail : reception@iogp.org

Rapport 550 de l'IOGP

Date de publication : 2016

© IPIECA-IOGP 2016 Tous droits réservés.

Aucune partie de cette publication ne peut 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 l'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.

Surveillance de surface et sous-marine des déversements d'hydrocarbures en mer

Guide de bonnes pratiques en matière de gestion des situations d'urgence et du personnel d'intervention d'urgence

Préface

Cette publication fait partie de la série des Guides de 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 à la lutte contre les déversements d'hydrocarbures. Cette série vise à harmoniser les pratiques et les activités du secteur, à informer les parties prenantes et à servir d'outil de communication pour promouvoir la sensibilisation et l'éducation.

Cette série 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 ont été réalisées par le 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 valoriser les enseignements en matière de préparation et de lutte contre les déversements d'hydrocarbures, suite à l'accident de contrôle de puits d'avril 2010 dans le golfe du Mexique.

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 seront amenées à évoluer au fil du temps à la lumière des innovations technologiques, de l'expérience pratique et de l'amélioration des connaissances scientifiques, ainsi que des changements politiques et sociaux.

Table des matières

Préface	2	Déploiement des technologies dans le cadre d'une opération de lutte en milieu sous-marin	37
À propos de ce guide	4	Suivi de l'injection sous-marine de dispersant	37
Introduction	5	Phase 1 : évaluation de l'efficacité du dispersant en milieu sous-marin	38
Véhicules sous-marins	7	Phase 2 : caractérisation du comportement et de l'étendue des panaches d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau	39
Véhicules et navires de surface	8	Phase 3 : évaluation initiale du risque lié aux effets écologiques	40
Capteurs	13	Planification de l'assurance qualité	41
Protocoles SMART	15	Utilisation et communication des données et des informations	42
Recours à la surveillance de surface et sous-marine lors des déversements d'hydrocarbures	17	Situation opérationnelle commune (COP)	42
Rôle de la surveillance lors des opérations de lutte contre les déversements d'hydrocarbures	17	Modélisation des déversements d'hydrocarbures	43
Outils et approches utilisés pour la surveillance lors d'une opération de lutte	19	Innovations et avancées technologiques Futures	44
Mesure de l'efficacité d'un programme de surveillance lors d'une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures	21	Plateformes hôtes	44
Choix des technologies les plus adaptées	22	Communications et batteries	45
Navires de surface	22	Capteurs	46
Véhicules autonomes d'études océanographiques (Autonomous oceanographic vehicles – AOV en anglais)	22	Modélisation	47
Systèmes de détection et compatibilité avec les plateformes de détection	23	Liste des acronymes	48
Considérations liées à la logistique et au déploiement	24	Bibliographie	49
Recommandations pour différents scénarios de déversements d'hydrocarbures	26	Sites web et ressources utiles	51
Mise en place des moyens de surveillance de surface et sous-marine	33	Remerciements	53
Rôle de la surveillance au sein du système de gestion des situations d'urgence	33		
Ressources de surveillance de surface et sous-marine dans le cadre d'une opération de lutte par niveau	34		
Surveillance de surface et sous-marine et suivi de l'injection sous-marine de dispersant	35		

À propos de ce guide

Le présent guide de bonnes pratiques s'appuie sur deux rapports techniques préparés pour l'Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz (IOGP) et l'Association internationale de l'industrie pétrolière pour la protection de l'environnement (IPIECA) au nom du Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (JIP). Le premier de ces rapports, qui a été préparé par Battelle (2014), s'intitule *Capabilities and Uses of Sensor-Equipped Ocean Vehicles for Subsea and Surface Detection and Tracking of Oil Spills*. Le second, qui a été préparé par Oceaneering (2015), s'intitule *Capabilities and Uses of Sensor and Video-Equipped Waterborne Surveillance-ROVs for Subsea Detection and Tracking of Oil Spills*.

Par ailleurs, les travaux suivants de l'American Petroleum Institute (API) ont été consultés :

- API (2013a), *Industry recommended subsea dispersant monitoring plan* ; et
- Arthur et. al. (2013), *Monitoring hydrocarbon releases in deep water environments: A review of new and emerging technologies* (rapports 13-01 de l'API).

Les informations contenues dans le guide de l'US National Response Team pour les opérations de dispersant (NRT, 2013) ont elles aussi été passées en revue.

L'objectif du présent guide de bonnes pratiques est de synthétiser et de résumer le contenu de ces rapports tout en fournissant une vue d'ensemble de l'utilisation stratégique et opérationnelle de la surveillance de surface et sous-marine. De plus, il présente plusieurs recommandations sur la façon d'intégrer les données et les informations fournies par la surveillance de surface et sous-marine au mécanisme de sensibilisation à la situation du système de gestion des situations d'urgence (IMS), dans le cadre de l'établissement de la « situation opérationnelle commune (COP) ».

Il fait également référence, le cas échéant, à d'autres guides de bonnes pratiques du Project de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (JIP), dont notamment :

- *Système de gestion des situations d'urgence de l'industrie du pétrole et du gaz* (IPIECA-IOGP, 2016a) ;
- *Préparation et lutte par niveau* (IPIECA-IOGP, 2015a) ;
- *Dispersants : injection sous-marine* (IPIECA-IOGP, 2015b) ; et
- *Élaboration d'une stratégie de lutte basée sur une analyse des avantages environnementaux nets (NEBA)* (IPIECA-IOGP, 2015c).

Le présent guide est destiné à fournir aux parties prenantes, telles que le personnel de lutte, les organismes de réglementation, les consultants juridiques, les entités du secteur, les ONG, les organisations de lutte contre les déversements d'hydrocarbures et les établissements universitaires, un aperçu et une orientation sur les bonnes pratiques liées aux principes fondamentaux de la surveillance de surface et sous-marine. Il convient toutefois de remarquer que la surveillance de surface et sous-marine des déversements d'hydrocarbures en mer est un domaine technologique qui évolue rapidement et que les définitions des bonnes pratiques qui s'y rattachent sont modifiées au fil du temps. Les recommandations fournies dans le présent document ne doivent donc pas être considérées comme applicables à toutes les situations, le choix de la technologie à utiliser et des mesures à prendre dépendant avant tout des circonstances entourant un déversement particulier.

Le présent guide analyse les méthodes de détection et d'observation à partir de capteurs et est conçu pour éviter, si possible, les procédures de plongée physique, qui ne sont donc pas traitées dans ce document. S'il s'avère nécessaire, pour quelque raison que ce soit, d'effectuer une plongée, cette dernière doit avoir lieu dans le respect des bonnes pratiques reconnues, suivant des procédures opérationnelles définies à cet égard, en conformité avec les lois locales et sous la supervision de personnes qualifiées.

Le sous-comité des opérations de plongée de l'Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz (IOGP) a publié des documents susceptibles de fournir des références complémentaires dans ce domaine.

Introduction

La surveillance de surface et sous-marine joue un rôle crucial pour le suivi efficace d'un déversement sous-marin d'hydrocarbures. La méthode d'injection sous-marine de dispersant (SSDI) a été utilisée pour la première fois pour répondre à l'accident de Macondo, dans le golfe du Mexique, en 2010. Cette méthode de lutte consiste à injecter le dispersant directement dans le panache d'hydrocarbures, près du point de déversement, par le biais d'un véhicule télécommandé sous-marin ou d'un système d'injection fixe relié à un dispositif de fermeture de puits.

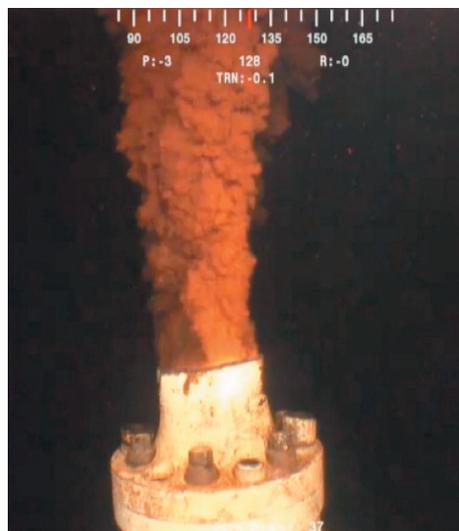
Le surveillance du panache d'hydrocarbures et du dispersant injecté est essentiel pour évaluer :

- la nature, le comportement et l'étendue du panache d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau ;
- l'efficacité du dispersant ;
- les effets écologiques potentiels en rapport avec la prise de décisions opérationnelles ;
- le débit des hydrocarbures déversés dans la colonne d'eau ; et
- les conditions environnementales ambiantes et les composés présents.

La surveillance peut également permettre de déterminer si d'autres sources d'hydrocarbures, telles que les suintements naturels, pourraient être attribuées par erreur au déversement accidentel étudié.

La réussite des activités d'injection sous-marine de dispersant dépend du déploiement rapide des équipements de surveillance de surface et sous-marine et de la constance du suivi opérationnel des hydrocarbures présents dans la colonne d'eau. La sélection, le déploiement et l'utilisation d'outils adaptés pour la surveillance de surface et sous-marine doivent s'appuyer sur les principes de l'analyse des avantages environnementaux nets (NEBA) exposés dans le document 2015c de l'IIPECA-IOGP.

Pour maximiser leur utilité, les données générées par la surveillance de surface et sous-marine doivent être intégrées à la situation opérationnelle commune (COP) de l'opération de lutte. Après avoir été introduites dans la COP, elles peuvent être transformées en informations exploitables par l'équipe d'intervention pour planifier les prochaines opérations et activités de surveillance. Il est crucial que ces informations soient fournies à temps pour obtenir une vision précise de la situation et pour faciliter la planification et la communication opérationnelle. Ces informations sont également importantes pour valider les modèles numériques du panache et de sa trajectoire.



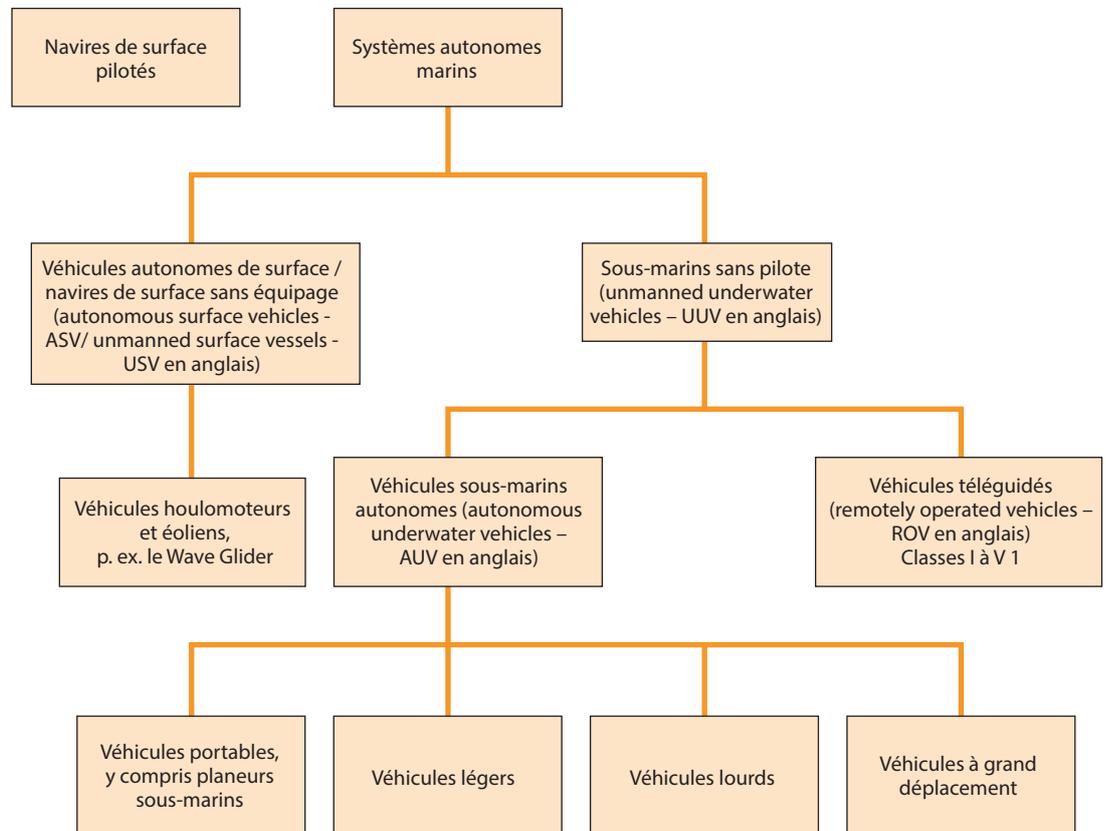
Photos modifiées à partir de la vidéo de BP obtenue par les ROV

Ces images, qui ont été capturées à l'aide de véhicules téléguidés (ROV), montrent des hydrocarbures (pétrole et gaz naturel) s'échappant depuis la colonne montante cassée suite à l'accident de Macondo dans le golfe du Mexique en 2010. Les données recueillies grâce à la surveillance lors de l'opération de lutte ont joué un rôle crucial pour la réussite de la mission.

La surveillance de surface et sous-marine qui, dans le cadre du présent document, inclut l'utilisation de systèmes déployés sur la surface de la mer et dans la colonne d'eau, peut être mise en œuvre à l'aide d'un large éventail de véhicules et de plateformes équipés de systèmes de détection. Il peut s'agir de navires de surface pilotés par un équipage, de véhicules autonomes d'études océanographiques (AOV) et de véhicules téléguidés (ROV).

La figure 1 présente un schéma hiérarchique des différentes classes de véhicules d'études océanographiques.

Figure 1 Véhicules et plateformes équipés pour la surveillance de surface et sous-marine



¹ Le terme ROV désigne un grand nombre de sous-marins autonomes. Aucun véhicule unique ne peut être considéré comme un ROV « typique ». L'International Marine Contractors Association (IMCA, 2016) a identifié les cinq catégories de véhicules suivantes pour les ROV :

- Classe I : ROV de surveillance
- Classe II : ROV de surveillance avec capacité de charge utile
- Classe II : véhicules de travail
- Classe IV : véhicules remorqués et de fond
- Classe V : prototypes et véhicules en cours de développement

Véhicules sous-marins

Véhicules sous-marins autonomes

Un véhicule sous-marin autonome (ou AUV pour « autonomous underwater vehicle ») est un robot qui se déplace en milieu sous-marin sans nécessiter d'intervention continue de la part d'un opérateur. Les AUV sont de toutes tailles, allant des véhicules légers et portables aux véhicules à diamètre élevé faisant plus de 10 m de long. Les AUV sont munis de toute une panoplie de capteurs, dont des compas, des capteurs de profondeur, des sonars latéraux, des magnétomètres, des thermistances et des sondes à conductivité, qui leur permettent de naviguer de façon autonome et de cartographier les caractéristiques de l'océan.

Le tableau 1 fournit des informations sur les tailles des AUV et les différentes classifications utilisées dans le présent guide.

Tableau 1 Classification des AUV

Classification	Diamètre (m)	Poids (kg)	Autonomie (h)	Charge utile (m ³)
Portables	0,15-0,3	80	<10-20	0,007
Légers	0,3	225	10-40	0,03-0,08
Lourds	0,5	1 350	20-80	0,11-0,17
Grand déplacement	0,55+	jusqu'à 9 000	100+	0,4-0,8

Les planeurs (ou « gliders » en anglais) font partie de la classe des portables. Ils utilisent un moteur ou une pompe pour modifier leur flottabilité et leurs ailerons convertissent le mouvement vertical en mouvement horizontal. En revanche, la plupart des AUV utilisent une propulsion à hélice. Voici quelques-unes des principales caractéristiques des planeurs :

- ils avancent plus lentement que les AUV à hélice (0,2 à 0,35 m/s contre 1,5 à 2,5 m/s) ;
- ils bénéficient d'une plus grande autonomie et peuvent parcourir des distances plus élevées (plusieurs heures, semaines ou mois, avec la possibilité de parcourir des milliers de km) ;
- ils suivent un profil en dents de scie ;
- ils utilisent les transmissions satellite pour la navigation et la communication lorsqu'ils sont en surface ; et
- ils ne nécessitent pas de navire de supervision en surface.

En règle générale, quatre modes d'échantillonnage sont utilisés, comme indiqué ci-après (informations adaptées de Davis *et al.*, 2002) :

- La marche avant peut servir à contrer les courants ambiants et à maintenir la position du planeur, ce qui lui permet de recueillir des données dans une zone particulière en faisant l'aller-retour entre la surface et le fond marin, agissant ainsi comme un réseau virtuel d'instruments attachés à la verticale.
- Un planeur qui se déplace de zone en zone donne une section à haute résolution, mais la lenteur du processus mélange la variabilité temporelle et spatiale.
- Plusieurs planeurs télécommandés depuis un navire ou depuis une base terrestre peuvent former un réseau permettant de décrire le contexte temporel et spatial afin de réaliser des mesures plus précises.
- La longue durée des opérations et la possibilité de réaliser un échantillonnage dense font des planeurs un outil idéal pour identifier des événements inhabituels (p. ex. limites d'un panache d'hydrocarbures), car leur trajectoire peut être constamment modifiée pour recueillir un grand nombre de données utiles (échantillonnage adaptatif).

*Ci-dessous :
déploiement d'un
planeur portable
sous-marin,
ordinairement appelé
« planeur Slocum »,
qui utilise une
batterie embarquée
pour les
communications,
les capteurs et les
ordinateurs de
navigation.*



Ci-dessous : déploiement d'un planeur portable sous-marin, ordinairement appelé « planeur Slocum », qui utilise une batterie embarquée pour les communications, les capteurs et les ordinateurs de navigation.

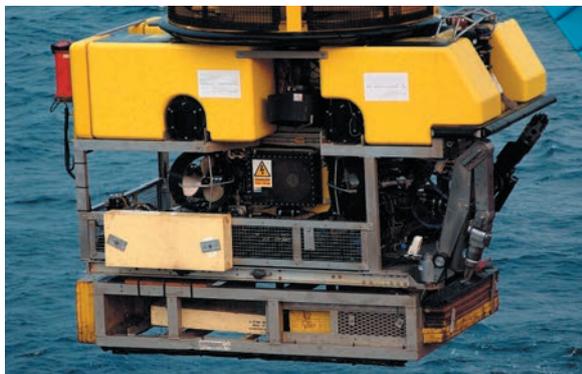
Tableau 2 Options de suivi pour différents types d'AUV

Type d'AUV	Mode opérationnel
Portables	Mission AUV exécutée sans interaction
Légers	AUV en contact intermittent avec un navire de soutien, qui est libre d'effectuer d'autres tâches
Lourds	AUV en contact quasi-continu
Grand déplacement	AUV utilisant le positionnement acoustique sous-marin pour la navigation

Véhicules télécommandés

Un véhicule téléguidé (ROV) est un robot sous-marin captif. Il se compose d'un châssis haute résistance, de matériaux de flottabilité, de systèmes de propulsion, de systèmes d'alimentation et de télémétrie, et d'une interface de capteurs dotée de systèmes électriques, hydrauliques et mécaniques répondant aux besoins de la mission. Cinq classes de ROV sont reconnues en fonction de la taille, de la profondeur pouvant être atteinte, de la puissance et de la charge utile (IMCA, 2016). Les ROV sont généralement alimentés et commandés par un opérateur ou pilote en surface grâce à une liaison ombilicale.

Exemples de deux différents types de ROV lancés depuis un navire de soutien au large afin de recueillir des données de surveillance sous-marine.



Véhicules et navires de surface

Les véhicules et navires de surface, qu'ils soient dirigés par un équipage ou non, peuvent être utiles lors d'une opération de lutte contre un déversement. Les petits bateaux, les pneumatiques semi-rigides (rigid-hull inflatable boats – RHIB en anglais), les bateaux de pêche, les navires de recherche, les ravitailleurs et les navires de soutien font partie des navires habités. Les navires de surface sans pilotes (ASV) sont disponibles dans diverses tailles (masses), allant de 100 kg ou moins à plusieurs tonnes. Les informations présentées par les tableaux 3, 4 et 5 aux pages suivantes sont tirées du rapport de Battelle sur les caractéristiques et les fonctions des véhicules équipés de capteurs (Battelle, 2014), qui examine les paramètres et l'état des différents types de véhicules autonomes de surface. Les ASV pesant moins de 100 kg sont considérés comme « petits » et peuvent être lancés et récupérés manuellement.

Tableau 3 Paramètres de petits véhicules autonomes

Paramètres du véhicule										
Fabricant/Plateforme	Longueur (m)	Largeur (m)	Peso seco (kg)	Durée max. de la mission (h)	Énergie disponible pour la charge utile	Volume de charge utile (m ³)	Poids de la charge (kg)	Source d'alimentation	Temps de changement lors d'une mission	Communications
CMR Instrumentation Sailbuoy	2		60	1 an		0,06	10			Iridium
EvoLogics SonoBot	0,45	0,92	30	10 (à 2 nd)						Wi-Fi
Robotic Marine Systems Scout	3			8						RF Wi-Fi
Sea Robotics Trimaran grande vitesse USV-1000	3	1,2	40	12 (à 2,4 nd) 6 (à 4,37 nd)			80	Batteries Ni-MH ; batteries lithium-polymère pour les opérations	Changement de batterie sur le terrain	2402 MHz Ethernet
Sea Robotics USV de mission reconfigurable (catamaran) USV-2600	3,25	1	75-100	8 (à 2,4 nd) 3 (à 4,37 nd)				Batteries Ni-MH ; batteries lithium-polymère pour les opérations	Changement de batterie sur le terrain	2403 MHz Ethernet
Sea Robotics Catamaran charge lourde USV-450	1,9	1,2	40	8 (à 2,4 nd) 2 (à 4,37 nd)			80	Batteries Ni-MH ; batteries lithium-polymère pour les opérations	Changement de batterie sur le terrain	2400 MHz Ethernet
Sea Robotics Monocoque à redressement automatique USV-5000	4,25	0,5	60	12 (à 2,4 nd) 6 (à 4,37 nd)			50	Batteries Ni-MH ; batteries lithium-polymère pour les opérations	Changement de batterie sur le terrain	2404 MHz Ethernet
Sea Robotics USV de mission reconfigurable USV-600	1,25	0,66	15	8 (à 2,4 nd) 3 (à 4,37 nd)			8	Batteries Ni-MH ; batteries lithium-polymère pour les opérations	Changement de batterie sur le terrain	2401 MHz Ethernet

Tableau 4 Paramètres de grands véhicules autonomes

Fabricant/Plateforme	Paramètres du véhicule									
	Longueur (m)	Largeur (m)	Peso seco (kg)	Durée max. de la mission (h)	Énergie disponible pour la charge utile	Volume de charge utile (m ³)	Poids de la charge (kg)	Source d'alimentation	Temps de changement lors d'une mission	Communications
ASV C-Enduro	4,2		350-500	3 mois				Solaire et éolienne		Radio satellite LOS
Sistemas marítimos avançados SIEL UAPS 20 : RHIB 500	5,05		320	12 continues			810	Moteur hors-bord 4 temps, 60 à 110 ch		
ASV C-Cat 5	5		650-1 000	groupe électrogène diesel : 48 Batterie seule : 8			500	2 moteurs électriques CC (3,6 kW chaque), groupe électrogène diesel ou à entraînement direct diesel en option		UHF Bande S, bande L Option Xbee
ASV C-Hunter	6,3		2 000	50+ (à 6 nd) 96+ (à 4 nd)			300	1 moteur diesel Yanmar 3YM30 (30 ch)		UHF jusqu'à 8 km ou communication satellite/GSM en option
ASV C-Worker	5,85		3 500-5 000	720 (à 4 nd) 240 (à 6 nd)				2 groupes électrogènes diesel, 13 kW chacun		Radio satellite LOS
C&C Technologies ASV Véhicule d'étude hydrographique 6300 (semi-submersible)	6,3		2 000	96 (à 4 nd) 50+ (à 6 nd)			300	Moteur diesel 30 ch Yanmar		
C&C Technologies ASV multi-rôle 9500 (semi-submersible)	9,5			720				Moteur diesel		
C&C Technologies SASS-Q (semi-submersible)	6						200			

Tableau 4 Paramètres de grands véhicules autonomes (suite)

Paramètres du véhicule										
Fabricant/Plateforme	Longueur (m)	Largeur (m)	Peso seco (kg)	Durée max. de la mission (h)	Énergie disponible pour la	Volume de charge utile (m ³)	Poids de la charge (kg)	Source d'alimentation	Temps de changement lors d'une	Communications
ECA Robotics INSPECTOR MK2 pour imagerie et études bathymétriques	8,4		4 700	20 (à 6 nd)			1 000	2 hydrojets diesel (2 x 170 à 215 kW)		
ISE Dorado (semi-submersible)	8,23	2,28	6 600	28		0,6	210	Moteur diesel marin	1-2 heures (avitaillement)	RF Ethernet
Maritime Robotics USV Mariner	5,8	2	1 700	50 (à 5 nd)		1		Moteur Volvo Penta D3		VHF/UHF GPRS/Iridium opt.
QinetiQ Blackfish	3,2		470	1			150			VHF/UHF Wi-Fi Iridium
SIEL Advanced Sea Systems UAPS 20 : RHIB 750	7,5		850				2 160	Moteur hors-bord 4 temps, 110 à 250 ch		
SIEL Advanced Sea Systems UAPS 20 : RHIB 900	8,8		1 500				2 160	Moteur hors-bord 4 temps, 500 ch		
ZyCraft Vigilant	16,5		6 000–13 000	720		18	2 700			

« AutoNaut » et « Wave Glider » figurent parmi les derniers modèles de la classe ASV. Il s'agit d'engins houlomoteurs pouvant maintenir des liaisons de communication satellite continues qui leur permettent d'être télécommandés en temps réel.

Tableau 5 ASV houlomoteurs et éoliens

Parámetros de vehículos										
Fabricant/ Plateforme	Longueur (m)	Largeur (m)	Poids à sec (kg)	Flottabilité de réserve	Durée max. de la mission (h)	Énergie disponible pour la charge utile	Volume de charge utile (m ³)	Poids de la charge utile (kg)	Vitesse de navigation habituelle en nœuds	Communications
Liquid Robotics Wave Glider SV2	Flotteur : 2,1 Planeur : 1,9	1,07 (aileron)	90	Déplacement 150 kg	Jusqu'à 1 an	10 W Ports de charge utile (3) : 3 A/13,2 V Port d'extension : 5 A/13,2 V Port sur le planeur : 1 A/13,2 V Max. système 10 A/13,2 V	0,04	18	0,5-1,6	Modem RF Iridium satellite Wi-Fi
Liquid Robotics Wave Glider SV3	Flotteur : 2,9 Planeur : 1,9	1,4 (aileron)	90	Déplacement 150 kg	Jusqu'à 1 an	10 W Ports de charge utile (3) : 3 A/13,2 V Port d'extension : 5 A/13,2 V Port sur le planeur : 1 A/13,2 V Max. système 10 A/13,2 V	0,09	45	1-2 sans propulseur 1,5-2,3 avec Propulseur	Modem RF Iridium satellite Wi-Fi
MOST AutoNaut	3,5			3 mois (à 2-3 nd)	20 W à 50 % du temps de service pendant 90 jours			Batterie : plomb/gel 720 Wh Panneau photovoltaïque : 125 Wp Générateur : pile à combustible méthanol 45 watts, 20 litres (22 kWh d'énergie)		UHF XBEE PRO Iridium
Saildrone Saildrone	5,8	2,1			5 000 h	5-10 W		100	5	Satellite

Capteurs

Les hydrocarbures présents dans l'eau de mer peuvent prendre la forme d'un mélange à plusieurs phases se composant de particules liquides, dissoutes, gazeuses ou solides. La phase liquide comprend une quantité importante d'hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), tandis que la phase gazeuse se compose essentiellement d'alcane légers, tels que le méthane.

Les hydrocarbures peuvent être directement détectés à l'aide de capteurs permettant de mesurer le méthane et les HAP gazeux et dissous. Ils peuvent également être détectés indirectement en mesurant une anomalie à partir d'une valeur environnementale de référence, p. ex. un changement de température, de salinité et d'autres paramètres. Certains systèmes de détection peuvent également suivre le flux des fluides en milieu sous-marin. Ces systèmes sont immergés et doivent être en contact ou très proches des hydrocarbures.

Les systèmes directs et indirects de détection sont examinés ci-dessous. Il convient de remarquer que, bien que les systèmes directs puissent fournir des informations plus rapidement pour l'opération de lutte, les systèmes indirects peuvent fournir, avec un certain délai, des échantillons permettant d'étalonner et de valider d'autres méthodes et modèles de détection.

Systèmes de détection directe

Les systèmes de détection directe d'hydrocarbures emploient l'une ou plusieurs des méthodes suivantes :

- Mesure spectrométrique à technologie infrarouge non dispersive (NDIR) du méthane (CH_4) à l'aide d'un système NDIR à analyse optique haute précision.
- Mesure fluorométrique des HAP à l'aide d'un fluoromètre pour mesurer l'intensité et la distribution des longueurs d'onde du spectre d'émission après excitation par un spectre lumineux connu.
- Mesure fluorométrique des hydrocarbures raffinés et bruts à l'aide d'un fluoromètre de coloration des matières organiques dissoutes (CDOM) pour mesurer la concentration d'hydrocarbures raffinés (360 nm) ou d'hydrocarbures bruts (440 nm).
- Mesures sur place de la distribution des tailles de particules à l'aide d'un analyseur LISST (de l'anglais laser in-situ scattering and transmissometry) ou d'autres instruments d'analyse de taille de particules.
- Utilisation de profileurs acoustiques de courant à effet Doppler (ADCP) pour mesurer la vitesse à laquelle l'eau se déplace dans la colonne d'eau.
- Utilisation de technologies de communication et d'acquisition de données géospatiales en milieu aquatique.
- Utilisation de caméras/vidéos sous-marines, dont notamment la toute dernière caméra du SINTEF (SiCam), pour caractériser les hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau.

Un grand nombre de ces capteurs peuvent être configurés pour un déploiement en pompage ou en débit ouvert, le capteur étant déployé sur le véhicule hôte de façon à être exposé à la colonne d'eau.

Ci-dessous : (en haut) déploiement du capteur laser submersible LISST-100X ; (en bas) déploiement du profileur acoustique de courant à effet Doppler (ADCP) monté sur un trépied.



Sequoia Scientific



Woods Hole Oceanographic Institution

Systèmes de détection indirecte

Les systèmes de détection indirecte d'hydrocarbures s'appuient sur l'identification des changements de propriétés dans un milieu marin local de référence en raison de la présence d'hydrocarbures. Les techniques de détection indirecte sont notamment la mesure et l'analyse des propriétés suivantes :

- Conductivité, température, profondeur (Conductivity, temperature, depth – CTD en anglais) : des capteurs séparés surveillent chaque paramètre individuel. La salinité est calculée à partir de la conductivité et la profondeur à partir de la pression hydrostatique.
- Turbidité : cette valeur est mesurée à l'aide de la diffusion optique de la lumière.
- Concentration d'oxygène dissous : cette mesure est effectuée à l'aide d'électrodes, de capteurs électrochimiques ou d'optodétecteurs (capteurs optiques).
- Concentration de CO₂ dissous : cette valeur est mesurée à l'aide de la spectrométrie NDIR.

Les capteurs de caractérisation de débit permettent de surveiller le débit de l'eau, et souvent les composants entraînés par le flux. Ces informations peuvent faciliter la prise de décisions en matière d'utilisation et d'efficacité potentielle des techniques d'injection sous-marine de dispersant. Les paramètres d'intérêt sont :

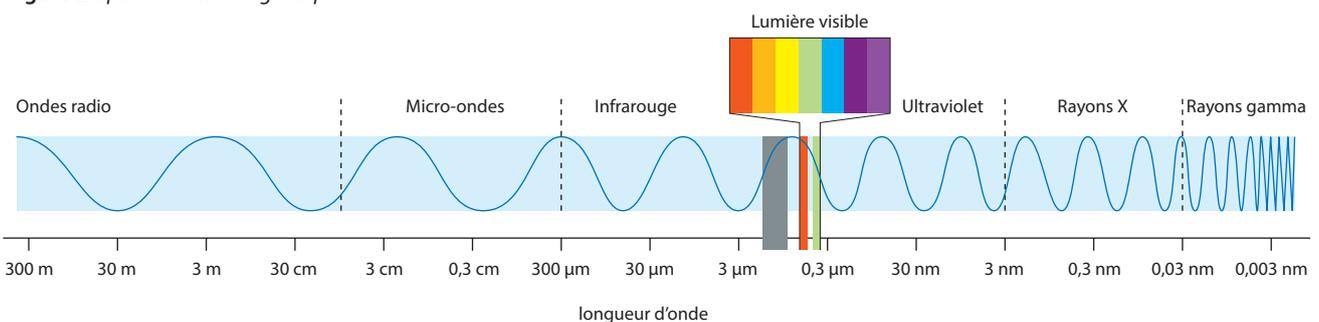
- le débit volumique total ;
- la composition du flux ;
- la taille des particules ; et
- la densité des particules.

Pour déterminer le volume total du flux, il est nécessaire d'utiliser des capteurs de macro et micro-zone. Les capteurs de macro-zone, tels que les sonars vers l'avant haute résolution et les systèmes de laser parallèle, mesurent la taille totale du flux à un endroit donné. Les capteurs de micro-zone fournissent des précisions sur les dimensions et les quantités de particules en suspension dans la colonne d'eau. Des systèmes de microscopie sous-marine et de diffraction optique de la lumière sont utilisés.

Systèmes de détection déployés depuis la surface

En plus des systèmes immergés de détection présentés ci-dessus, plusieurs systèmes de détection déployés depuis la surface sont disponibles et peuvent détecter la présence d'hydrocarbures sur ou près de la surface de la mer. Ces systèmes sont généralement déployés depuis des véhicules de surface avec ou sans équipage. Quatre technologies principales sont utilisées. Elles sont classées en fonction de la partie du spectre électromagnétique à partir de laquelle la détection est réalisée. La figure 2 (ci-dessous) montre le spectre électromagnétique.

Figure 2 Spectre électromagnétique



Les systèmes de détection peuvent être « passifs » ou « actifs ». Les systèmes passifs détectent le rayonnement émis par la cible, tandis que les systèmes actifs émettent leur propre énergie et mesurent le signal réfléchi par la cible.

Tableau 6 Capteurs et spectre électromagnétique

Type de capteur	Actif/Passif	Longueur d'onde	Élément mesuré	Systèmes de détection habituels
Ultraviolet	Passif	100–400 nm	Lumière solaire réfléchie	Caméras UV et radiomètres à balayage linéaire
Visible	Passif	400–700 nm	Lumière solaire réfléchie	Appareils photo et caméras
Infrarouge	Passif	0,74-14,0 µm	Rayonnement naturel et température de surface	Caméras et scanners thermiques
Radar	Actif	2,5–3,75 cm	Écho radar	Radar marin (bande X)

Il existe un grand nombre de systèmes de détection de surface disponibles. Ils vont de l'œil humain qui, aidé de jumelles, permet au personnel de lutte de détecter les irisations de surface, aux systèmes de radars complexes.

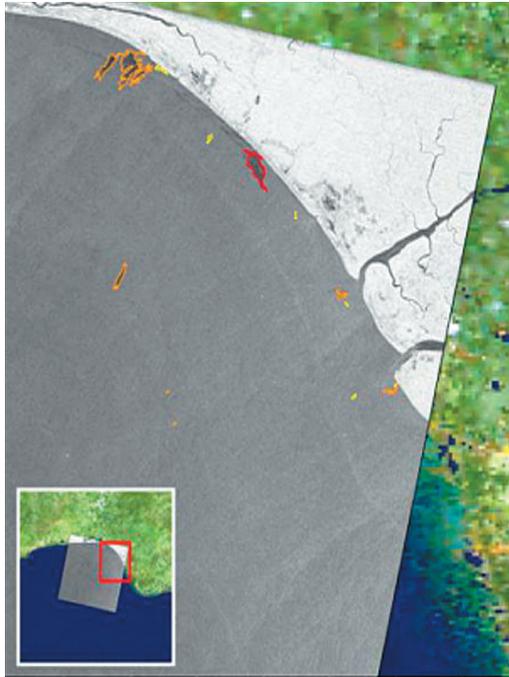
Des descriptions détaillées de ces systèmes de détection déployés en surface et des véhicules utilisés pour les déployer sont disponibles dans le document d'évaluation des technologies nouvelles et émergentes de l'API (Arthur *et al.*, 2013) et dans les rapports préparés par Battelle (2014) et Oceaneering (2015) pour le Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (JIP).

Protocoles SMART

À la fin des années 1990, des représentants de plusieurs organismes du gouvernement des États-Unis pour la santé et l'environnement ont collaboré en vue de produire un protocole intitulé Special monitoring of applied response technologies (SMART) (NOAA, 2006). SMART fournit des lignes directrices pour la mise en place d'un système de suivi permettant d'obtenir et de communiquer rapidement des informations scientifiques en temps réel afin d'aider le personnel de lutte à prendre des décisions lors des opérations de brûlage contrôlé in-situ ou d'application de dispersant.

Quand des hydrocarbures sont présent en surface, les technologies de surveillance disponibles sont plus nombreuses, y compris avec les systèmes aériens et satellitaires. Cependant, les technologies de surveillance de surface et sous-marine faisant l'objet du présent guide de bonnes pratiques sont elles aussi importantes pour évaluer et suivre les hydrocarbures de surface. Les véhicules autonomes de surface sont davantage propices à la sécurité et aux économies de coût que les systèmes pilotés manuellement, car ils réduisent, voire éliminent, la nécessité que des intervenants humains s'exposent aux effets nocifs des composés organiques volatils (COV) des hydrocarbures déversés. C'est le cas pour les dispersants injectés en milieu sous-marin et pour les dispersants appliqués en surface, notamment si l'épandage se fait depuis une plateforme aérienne, telle qu'un hélicoptère ou un autre type d'aéronef. Comme l'a souligné l'American Petroleum Institute (API, 2013a), l'application de dispersant en surface utilise le protocole SMART multi-niveau pour suivre l'efficacité du dispersant. Lorsqu'il s'appuie sur les protocoles SMART, le suivi commence par des observations visuelles pour déterminer l'efficacité du dispersant. Toute décision éventuelle de passer à un niveau supérieur du plan de suivi se fonde sur les besoins opérationnels et sur le temps disponible pour la mise en œuvre de systèmes de suivi supplémentaires, dont la surveillance de surface et sous-marine.

SMART fournit des lignes directrices pour la mise en place d'un système de suivi englobant toutes les méthodes de surveillance disponibles – observation satellitaire (ci-contre), observation aérienne (à droite) et observation en milieu sous-marin – pour obtenir et communiquer rapidement des informations scientifiques en temps réel afin d'aider le personnel dans le cadre d'une opération de lutte.



MacDonald Dettwiler and Associates



OSRL

Comme indiqué dans l'introduction du présent guide de bonnes pratiques, la surveillance de surface et sous-marine joue un rôle crucial en tant qu'approche technologique du suivi des déversements d'hydrocarbures en milieu sous-marin. Elle permet le prélèvement d'échantillons adéquats d'eau afin d'évaluer l'efficacité de l'injection de dispersant en milieu sous-marin et de suivre le débit des hydrocarbures déversés dans la colonne d'eau.

La surveillance, qu'elle se fasse par voie satellitaire, aérienne, de surface ou sous-marine, est indispensable pour soutenir efficacement l'équipe d'intervention et les autres parties prenantes lors d'une opération de lutte. Elle permet de bien appréhender l'ampleur de la pollution et d'évaluer les actions de lutte en cours tout en facilitant la planification des futures activités de lutte. La surveillance, conjuguée aux méthodes de modélisation prédictive, de génération de rapports, de visualisation et de documentation des données et des informations recueillies, est reconnue comme un outil vital pour garantir la « sensibilisation à la situation », c'est-à-dire comme outil permettant de savoir ce qui se passe lors d'un déversement (voir l'encadré 1 à la page 18).

Recours à la surveillance sous-marine et de surface lors des déversements d'hydrocarbures

Le recours à la surveillance lors des opérations de lutte contre les déversements d'hydrocarbures peut servir à diverses fins. En particulier, les personnes responsables de l'organisation des opérations de lutte peuvent faire appel à la surveillance pour accroître leur sensibilisation à la situation du déversement. De plus, les données issues de la surveillance, telles que les images, les vidéos, les cartes, les tableurs et les calculs, peuvent servir à la planification des opérations, au suivi et à l'évaluation de l'impact des méthodes de récupération, à la validation et l'étalonnage des modèles numériques du déversement, et à la communication avec les parties externes, telles que les médias et le public. Par ailleurs, la surveillance en temps réel peut fournir un soutien tactique lors d'une opération de lutte, p. ex. quand un appareil aérien est utilisé pour « repérer » une nappe d'hydrocarbures et guider les navires d'épandage de dispersant vers la zone ciblée.

Les informations enregistrées et documentées dans le cadre de la surveillance peuvent servir à d'autres fins après le déversement, p. ex. en servant de support aux cours de formation et aux exercices, ainsi que pour les établissements d'enseignement et de recherche. Ces informations peuvent être essentielles pour régler des problèmes juridiques et répondre aux exigences réglementaires liées au déversement.

En plus de son rôle lors d'une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures, la surveillance peut servir de mesure de préparation pour surveiller les zones exposées à un risque de déversement d'hydrocarbures (p. ex. les zones entourant des installations, des couloirs maritimes, des oléoducs) de façon routinière, voire continue.

Fonction de la surveillance lors des opérations de lutte contre les déversements d'hydrocarbures

La surveillance est un élément essentiel de la boîte à outils de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures et fournit des informations précieuses sur l'évolution du scénario lors d'une opération de lutte. La surveillance d'un déversement d'hydrocarbures doit fournir à l'équipe d'intervention :

- une détection (ou confirmation) et une évaluation initiales (caractérisation et quantification) d'un déversement d'hydrocarbures *dans un intervalle de temps donné* ;
- une évaluation continue et un suivi synoptique d'un déversement d'hydrocarbures et des opérations de lutte *à des intervalles réguliers* ; et
- un soutien tactique (suivi visuel constant) pour les opérations et les missions *au moment et à l'endroit opportuns*.

Il est essentiel que les informations nécessaires soient fournies à temps pour assurer un niveau adapté de sensibilisation à la situation, ainsi que pour faciliter la planification opérationnelle et la communication.



Cartographie de points de cheminement/Esri

Les données de surveillance recueillies lors d'une opération de lutte sont intégrées à la situation opérationnelle commune (COP) du SIG (voir la page 42) pour que toutes les parties prenantes comprennent la situation et agissent à partir des mêmes informations.

Encadré 1 *Qu'est-ce que la sensibilisation à la situation ?*

La sensibilisation à la situation consiste à « savoir ce qui se passe autour de vous ». Dans le cadre d'une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures, la sensibilisation à la situation signifie avoir une compréhension globale, mais complète, du déversement. Pour ce faire, les éléments critiques des informations fournies doivent être identifiés, traités et assimilés. Il est donc impératif que des informations pertinentes soient recueillies, que leur exactitude et leur actualité soient vérifiées, pour pleinement appréhender la situation d'un déversement d'hydrocarbures. Le tableau 7 (ci-dessous) précise les principaux types d'informations et de données nécessaires à la sensibilisation à la situation pour un déversement d'hydrocarbures.

En quoi la surveillance contribue-t-elle à la sensibilisation à la situation ?

La surveillance sert essentiellement à identifier, caractériser, et, de préférence, quantifier les hydrocarbures déversés susceptibles d'être présents en surface, en profondeur et sur le littoral. De plus, la surveillance peut être utilisée pour recueillir des informations sur l'environnement dans lequel a lieu le déversement d'hydrocarbures. La surveillance est donc susceptible de fournir une grande partie des informations clés nécessaires à l'orientation de l'opération de lutte, telles que les positions (absolues et relatives) des hydrocarbures déversés, les estimations des quantités d'hydrocarbures déversés, la caractérisation des hydrocarbures et les conditions opérationnelles (prévisions météorologiques, relief local, données hydrographiques, vulnérabilités environnementales), qui sont d'une importance cruciale dans le cadre de la sensibilisation à la situation.

Tableau 7 *Informations nécessaires à la sensibilisation à la situation*

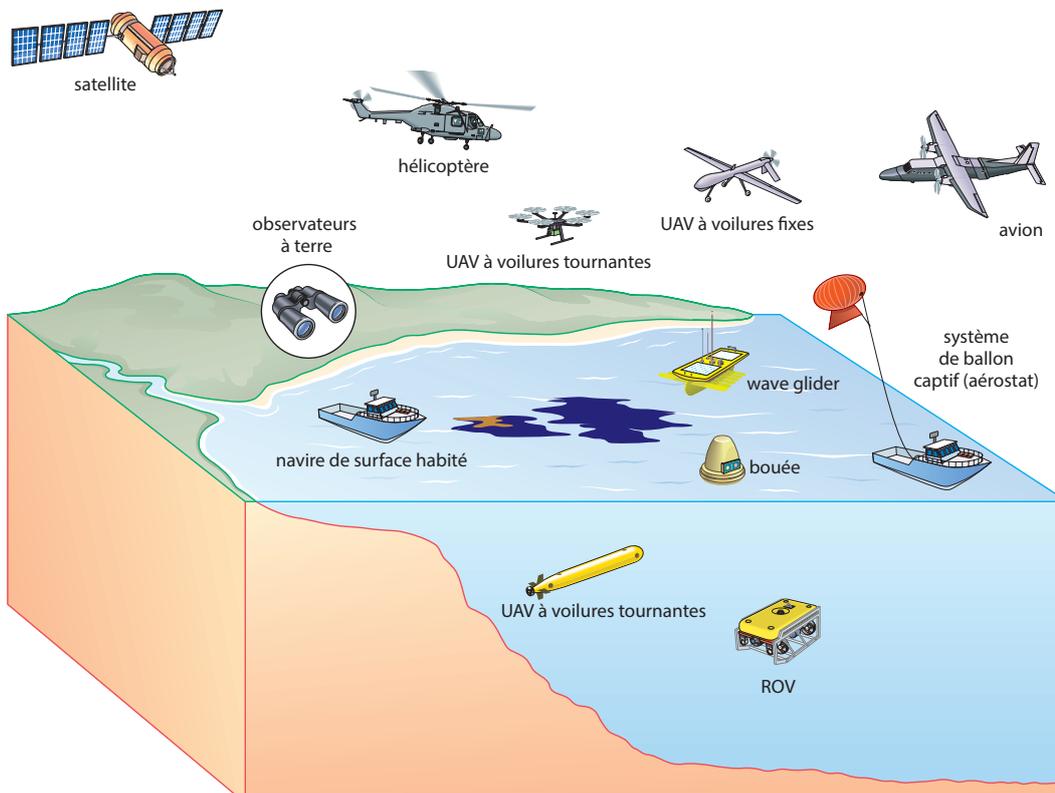
Type d'informations	Exemples
Mesures et caractéristiques du déversement d'hydrocarbures	<ul style="list-style-type: none"> ● Emplacement géographique du déversement d'hydrocarbures et des nappes individuelles ● Étendue du déversement d'hydrocarbures ● Nombre de nappes ● Volume d'hydrocarbures déversés (estimation) ● Type d'hydrocarbures déversés
Emplacement du déversement d'hydrocarbures	<ul style="list-style-type: none"> ● Emplacement physique (dans l'eau, sur l'eau, sur la côte, dans les terres) ● Caractéristiques physiques connexes (courants marins, type de surface, couche de glace) ● Vulnérabilités environnementales de la zone (palétuviers, zones de nidification)
Conditions opérationnelles	<ul style="list-style-type: none"> ● Conditions météorologiques ● Caractéristiques physiques susceptibles de nuire aux opérations
Facteurs socio-économiques	<ul style="list-style-type: none"> ● Zones habitées/urbanisées proches ● Vulnérabilités économiques (zones de pêche, terrains agricoles)
Facteurs politiques	<ul style="list-style-type: none"> ● Parties prenantes concernées par l'opération de lutte (c'est-à-dire qui est responsable de quoi) ● Réglementations et lois susceptibles d'affecter les opérations de lutte ● Frontières/Zones à respecter si l'opération est multinationale
Opérations en cours	<ul style="list-style-type: none"> ● Opérations et méthodes de lutte en cours et planifiées ● Emplacement des ressources et des actifs, et quantité déployée
Impact de l'opération de lutte	<ul style="list-style-type: none"> ● Volume ou pourcentage d'hydrocarbures récupérés ● Mesures d'atténuation prises pour éviter tout autre déversement ultérieur (au besoin) ● Surface nettoyée sur le littoral, dans les terres, etc.

Outils et approches utilisés pour la surveillance lors d'une opération de lutte

Pour que les informations les plus pertinentes soient fournies efficacement lors d'une opération de lutte, il est nécessaire d'établir un programme de surveillance et de suivi de déversement d'hydrocarbures faisant appel à un éventail d'approches et d'outils de surveillance pour que les informations recueillies puissent soutenir l'opération en cours (figure 3). Les outils de surveillance sont notamment les suivants :

- les sous-marins sans pilote (UUV), dont les véhicules autonomes sous-marins (AUV) (p. ex. les planeurs) et les véhicules téléguidés (ROV) ;
- les navires de surface sans équipage (USV), dont les véhicules autonomes de surface (ASV) (p. ex. l'AutoNaut et le Wave Glider) ;
- les navires de surface (utilisant des moyens optiques et radar, la photographie et la vidéo, ainsi que la surveillance à l'œil nu) ;
- les bouées, les traceurs et les systèmes fixes (p. ex. instruments montés sur des appareils de forage ou amarrés indépendamment) ;
- les observateurs à terre (observant à l'œil nu, utilisant la photographie et la vidéo) ;
- les plateformes aériennes comme les avions et les hélicoptères (observant à l'œil nu, utilisant des systèmes optiques et radar, la photographie et la vidéo) ;
- les drones aériens (UAV, utilisant des moyens optiques et radar) ;
- les systèmes de ballon captif (c'est-à-dire aérostats utilisant des techniques optiques et infrarouge) ; et
- les satellites (à l'aide de techniques optiques, infrarouge et radar).

Figure 3 Exemples d'outils de surveillance pouvant être utilisés lors d'une opération de lutte



Chaque outil a ses propres avantages et limites lors de la collecte d'informations pour une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures. Ces caractéristiques sont expliquées dans le rapport de l'API sur la télédétection (API, 2013b). Pour obtenir des informations sur les outils de surveillance autres que les outils de surveillance de surface et sous-marine, veuillez consulter les documents IPIECA-OMI-IOGP, 2015 et IPIECA-IOGP, 2016b.

Les avantages et inconvénients des technologies de surveillance de surface et sous-marine doivent être analysés dans le cadre du scénario de déversement d'hydrocarbures, différents facteurs pouvant influencer sur l'efficacité globale d'un outil particulier. Les facteurs pouvant être pris en considération sont notamment les suivants :

- la taille du déversement (et sa durée prévue) ;
- l'emplacement du déversement (position géographique et type de zone, p. ex. au large, sur la côte) ;
- les conditions environnementales ;
- les conditions opérationnelles ;
- la nature des hydrocarbures déversés et leur comportement lors de leur vieillissement (p. ex. leur tendance à s'étaler) ;
- les problèmes logistiques (p. ex. accès pour déployer la technologie) ;
- les contraintes législatives et politiques (y compris le contrôle et la réglementation de l'espace aérien et maritime, ainsi que les lois locales régissant certaines technologies) ;
- le type d'opération de lutte ;
- le moment auquel les informations seront nécessaires ; et
- la facilité d'intégration et d'organisation des différentes sources et des différents types d'informations.

À titre d'exemple, il est possible qu'un petit déversement localisé nécessite uniquement le recours à des observateurs humains, alors que des conditions météorologiques défavorables peuvent empêcher le déploiement d'appareils aériens. En règle générale, pour rassembler toutes les informations nécessaires, un programme de surveillance doit utiliser les outils disponibles dans une combinaison adaptée à l'opération de lutte.

Au fur et à mesure que la situation d'urgence évolue, le programme de surveillance fait l'objet de demandes de plus en plus intenses et doit se diviser en deux rôles : stratégique (sensibilisation à la situation, planification des opérations et suivi de l'impact) et tactique (soutien aux opérations). Chaque outil utilisé doit être en mesure de jouer au moins l'un de ces rôles et de répondre aux exigences correspondantes.

En règle générale, pour rassembler toutes les informations nécessaires, un programme de surveillance doit utiliser les outils disponibles dans une combinaison adaptée à l'opération de lutte.



Comme indiqué dans l'introduction du présent guide de bonnes pratiques, la surveillance de surface et sous-marine joue un rôle crucial pour suivre un déversement d'hydrocarbures en milieu sous-marin, pour caractériser la nature et l'étendue des panaches sous-marins d'hydrocarbures dispersés, et pour déterminer l'efficacité des activités d'épandage de dispersant. Ces activités de suivi facilitent le processus de prise de décision en matière d'épandage de dispersant, car elles permettent de déterminer s'il convient de poursuivre ou de cesser l'utilisation de cette méthode. De nombreux enseignements ont été tirés de l'accident de Macondo en 2010 et des sections ultérieures du présent guide fournissent des recommandations fondées sur les conclusions obtenues pendant et après cet événement. Ces recommandations ont été intégrées à d'autres guides du secteur, tels que le rapport 1152 de l'API sur le suivi du dispersant en milieu sous-marin (API, 2013a) et le guide de bonnes pratiques de l'IEPCA-IOPG sur l'injection de dispersant en milieu sous-marin (IEPCA-IOPG, 2015b).

Mesure de l'efficacité d'un programme de surveillance lors d'une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures

L'efficacité globale du programme de surveillance est surtout visible au sein de la situation opérationnelle commune (COP) de l'opération de lutte. La COP est une vue commune de la situation d'urgence et de ses conditions opérationnelles. Elle a été définie comme « *une plateforme informatique basée sur la technologie de système d'information géographique (SIG) qui offre une source unique de données et d'informations pour la sensibilisation à la situation, la coordination, la communication et l'archivage de données en vue de soutenir le personnel de gestion de la situation d'urgence, le personnel de lutte et les autres parties prenantes impliquées dans ou affectées par un accident* » (IEPCA-IOPG, 2015d). La COP est utilisée pour étayer la prise de décisions stratégiques et tactiques au sein du système de gestion des situations d'urgence (IMS), qui sert à gérer l'opération de lutte.

La COP permet au personnel de lutte et aux autres parties prenantes de voir toutes les données et informations générées dans le cadre de l'opération de lutte, y compris les données issues de la surveillance. La plupart des informations contenues dans la COP sont statiques. Ainsi, la COP peut être élaborée et préalablement remplie durant la phase de planification de la lutte dans la zone concernée. Si certaines informations relatives à la surveillance nécessaires aux utilisateurs n'étaient pas fournies par la COP, le programme de surveillance devra être amélioré et mis à jour pour combler cette lacune. Le document 2015d de l'IEPCA-IOPG fournit des précisions sur les éléments à inclure dans la COP.

La situation opérationnelle commune (COP) et son intégration au système de gestion des situations d'urgence (IMS) sont des aspects relativement récents de l'évolution continue des stratégies, des technologies et des pratiques en vigueur dans le domaine de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures. Il n'existe donc pas de consensus quant à la place de la COP dans la hiérarchie de l'IMS, ni même sur le fait qu'elle doive obligatoirement faire partie de la structure de l'IMS (par exemple pour les opérations de petite échelle). Quoi qu'il en soit, la COP doit définir la partie responsable de la mise en œuvre de la fonction de surveillance pour s'assurer que le programme de surveillance est capable de répondre avec exactitude aux questions opérationnelles clés (p. ex. sur la condition, l'évolution et le comportement des hydrocarbures) dans un délai suffisamment court pour que les décisions soient prises avec efficacité.

Choix des technologies les plus adaptées

La sélection des plateformes et des navires de surveillance de surface et sous-marine qui seront équipés des systèmes de détection dépend de la nature du déversement. Si le déversement n'affecte que la surface, des navires et véhicules conventionnels, avec ou sans équipage, peuvent suffire. Si l'impact du déversement se fait ressentir, non seulement à la surface, mais aussi en profondeur, il est recommandé de déployer un ensemble de véhicules sous-marins et de surface pour détecter et suivre le déversement. Les technologies sélectionnées sont susceptibles de varier au fur et à mesure que le scénario évolue et que les hydrocarbures se propagent et s'étalent.

Le choix et la hiérarchisation des technologies de détection nécessitent une compréhension et une connaissance des hydrocarbures déversés. Différents hydrocarbures ont différentes caractéristiques sur les plans physique et chimique, ainsi qu'en matière de vieillissement. Les technologies de détection à utiliser en priorité ne seront donc pas les mêmes pour des hydrocarbures gazeux, liquides, bruts, raffinés, légers paraffineux, des asphaltènes, et ainsi de suite.

Navires de surface

Il existe un grand nombre de navires de surface susceptibles de soutenir une opération de lutte. Les caractéristiques à prendre en considération avant de choisir un navire particulier pour déployer des technologies de surveillance sont notamment les suivantes :

- la taille du navire (c'est-à-dire si le navire peut prendre en charge la taille, le poids et les besoins en énergie des systèmes de détection sélectionnés) ;
- la distance qu'il peut parcourir et la durée maximale de ses missions ;
- son état opérationnel dans la zone ciblée en fonction des conditions météorologiques et marines existantes et prévues ;
- sa capacité en personnel (pour les navires habités), c'est-à-dire en termes d'équipage et de personnel de lutte ;
- la hauteur de déploiement des capteurs (une plus grande altitude augmente la portée de détection et la surface couverte) sur le pont, sur un mât, sur un portique, sur une flèche ou sur une grue ;
- la technologie de communication (cellulaire ou satellite) disponible pour fournir des informations en temps réel à la COP par Internet ; et
- la disponibilité du navire, avec ou sans contrat de location, ou par le biais d'une entente réciproque préalablement établie avec un autre opérateur.



Alan Smillie/Shutterstock.com



Michael Grant Travel/Alamy Stock Photo

Véhicules autonomes d'études océanographiques (AOV)

Quand l'utilisation d'un AOV est envisagée, il convient de se rappeler que tous les systèmes commerciaux actuellement disponibles n'ont pas fait leurs preuves dans le domaine des exercices et des opérations de lutte contre un déversement d'hydrocarbures. Certains dispositifs sont produits uniquement à des fins de recherche et n'ont pas été fabriqués dans des quantités suffisantes pour constituer une ressource commercialement disponible, tandis que d'autres ont été conçus uniquement

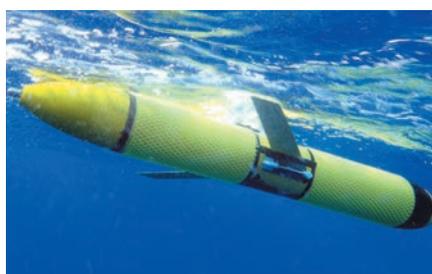
à des fins militaires. Il existe toutefois maintenant un certain nombre de nouveaux véhicules offrant différentes possibilités et susceptibles de répondre aux exigences de la surveillance des déversements d'hydrocarbures.

Il convient également d'examiner la compatibilité des véhicules, dont notamment les aspects suivants (adaptés de Battelle, 2014) :

- Les véhicules pilotés de surface sont disponibles presque partout, tandis que le déploiement d'AOV sur la zone d'un accident risque de prendre quelques jours, voire plus.
- Les grands AOV sont souhaitables pour les missions de longue durée, c'est-à-dire lorsque le déversement se poursuit et que les hydrocarbures s'éloignent du littoral et s'enfoncent de plus en plus dans les profondeurs marines.
- Les AOV portables sont moins utiles à grande profondeur en raison de leur durée de service limitée et des problèmes de manœuvrabilité en profondeur.
- Les AOV sont généralement préférés aux navires habités du fait qu'ils réduisent le risque d'exposition du personnel aux dangers d'une opération de lutte contre un déversement.
- Les planeurs ont une source d'alimentation embarquée limitée et sont donc peu susceptibles d'utiliser des capteurs actifs en permanence.
- Les planeurs sont des véhicules qu'on « lâche et oublie ». Ils sont donc souvent utiles pour suivre les limites et l'étendue des déversements, particulièrement quand des systèmes d'échantillonnage adaptatif et de contrôle ont été mis en place.
- Les planeurs peuvent nécessiter une profondeur d'eau minimale.
- Les ASV utilisant la puissance du vent ou de la houle sont conçus pour fonctionner en pleine mer et sont donc moins utiles près des côtes.
- Les petits ASV peuvent être utilisés dans des zones aquatiques protégées, notamment dans des ports, mais ne sont pas destinés à fonctionner en pleine mer.
- Les ASV, tels que le Wave Glider, sont plus utiles que les AUV quand la plus grande partie du déversement se situe en surface ou près de la surface.
- Les AUV sont peu pratiques et peu rentables près des côtes, car les eaux y sont peu profondes et il est probable qu'un grand nombre de navires de surface y soient disponibles.



Free Wind 2014/Shutterstock.com



NOAA



OIST

Exemples de différents types d'AOV (à partir d'en haut à gauche, dans le sens horaire) : récupération d'un planeur portable léger ; Wave Glider déployé depuis un navire de soutien ; planeur sous-marin près de la surface.

Systèmes de détection et compatibilité avec les plateformes de détection

Étant donné que les hydrocarbures présents dans la colonne d'eau existent sous la forme d'un mélange multiphase, la détection nécessite généralement une combinaison de méthodes directes et indirectes. Les méthodes directes sont utiles du fait que la phase huileuse contient une forte teneur en HAP, tandis que la phase gazeuse se compose essentiellement de méthane. Les méthodes indirectes consistent à déterminer certains paramètres environnementaux de référence, puis à détecter les anomalies.

Les principaux paramètres océanographiques surveillés dans la colonne d'eau sont la température de l'eau, l'oxygène dissous (OD), le pH, la salinité et la turbidité. Il est important d'établir les valeurs de référence de ces conditions océanographiques, car elles peuvent ensuite être utilisées pour détecter les changements ayant lieu dans la colonne d'eau qui peuvent avoir un rapport avec la présence de panaches d'hydrocarbures. Les mesures de l'OD sont tout particulièrement importantes, car un niveau

Exemple d'AUV équipé de capteurs pour mesurer la salinité, la température, les courants, la bathymétrie et la qualité de l'eau.



UHM/SOEST

Système d'échantillonnage d'eau installé dans le corps d'un AUV.



MBARI

d'oxygène inférieur à une valeur de référence peut indiquer la présence de substances polluantes (p. ex. hydrocarbures) en cours de biodégradation par les organismes microbiens de la colonne d'eau.

Plusieurs méthodes de détection sont utilisées pour diverses phases des hydrocarbures, ce qui réduit la possibilité d'apparition des faux positifs souvent obtenus lorsqu'une seule méthode est employée. À titre d'exemple, un capteur OD et une sonde CTD peuvent indirectement détecter des hydrocarbures dans la colonne d'eau. Ce suivi aide également l'équipe d'intervention à déterminer l'évolution et le déplacement du panache sous-marin tout au long du déversement. Cela permet ensuite de surveiller l'efficacité de l'application du dispersant et fournit des informations pour évaluer les impacts environnementaux.

Il convient d'envisager le recours à une méthode acoustique pour suivre également la vitesse effective de l'écoulement.

Des précisions sur la compatibilité des différents types d'AOV avec les systèmes de détection d'hydrocarbures sont fournies sous la forme de plusieurs matrices dans le rapport de Battelle de 2014. Le tableau 8 à la page 25 du présent guide de bonnes pratiques présente l'une de ces matrices.

L'examen par l'API des technologies de détection (Arthur *et al.*, 2013) comporte un résumé des fonctions de surveillance des technologies actuelles, nouvelles et émergentes.

Considérations liées à la logistique et au déploiement

Les conditions météorologiques et d'autres éléments (p. ex. la réglementation maritime) peuvent limiter l'utilisation de technologies de surveillance traditionnelles depuis des navires, en fonction d'un certain nombre de facteurs, dont notamment :

- la taille du navire ;
- le type de navire nécessaire aux opérations ; et
- la nécessité d'utiliser un système de lancement et récupération (Launch and Recovery System - LARS en anglais).

Les USV et AUV portables peuvent être transportés par la plupart des véhicules et peuvent être déployés depuis le littoral. Ils sont toutefois habituellement déployés par quelques personnes à bord d'un pneumatique ou d'un RHIB. Le déploiement à partir d'un petit bateau dépend grandement de l'état de la mer. Ces technologies doivent être emballées avec soin, dans des boîtiers tout-terrain qui peuvent souvent contenir d'autres articles opérationnels, tels que des ordinateurs, des médias numériques amovibles, des câbles d'alimentation ou de transmission de données, et des pièces de rechange. Le rapport de Battelle de 2014 fournit des précisions quant aux différents types d'AUV disponibles.

Tableau 8 Matrice de compatibilité des AUV et des capteurs directs

Véhicule	Détection directe																					
	ASD Sorsortechnik Backscat 1	Système de détection de fuites Bowtech	Détection de fuites pour pipeline sous-marin de Chelsea Technologies	Fluoromètre Unilux de Chelsea Technologies	Fluoromètre UV Aquatrack de Chelsea Technologies	Hydroc CH ₄ Hydrocarbon and Méthane de Contros	Capteur fluoromètre Hydroc PAH de Contros	Système de détection de fuite mobile de Contros	Capteur Hach FP 360 SC Oil-in-Water	Neptune Oceanographic SNIFIT	Détection de fuites Oceansense	Détection de fuites d'hydrocarbures de Phaze Technology	Fluoromètre UV de Sea & Sun	Fluoromètre UV de Seapoint	Détection de fuites laser LDS3 de Smart Light Devices	Détection automatique de fuite par sonar (ALDS) de Sonardyne	Système TSS MELDS de Teledyne Enviroflu-DS de TriOS	Enviroflu-HC de TriOS	Fluoromètre submersible C3 de Turner Designs	Cyclops 6k personnalisable de Turner Designs	Cyclops 7 personnalisable de Turner Designs	Système de détection acoustique de fuite passif de Weatherford BigEars
ACSA SeaExplorer	NE	1	1	3	1	1	2	1	2	NE	1	NE	2	2	1	NE	1	2	1	2	2	NE
Bluefin Robotics Spray Glider	NE	2	1	3	2	2	2	1	2	NE	2	NE	2	2	2	NE	2	2	2	3	3	NE
Exocetus Costal Glider	NE	3	2	3	3	3	3	3	3	NE	3	NE	3	3	3	NE	3	3	3	3	3	NE
Kongsberg 1KA Seaglider	NE	1	1	3	1	1	2	1	2	NE	1	NE	2	2	1	NE	1	2	1	2	2	NE
Teledyne Webb Research Slocum Thermal Glider	NE	1	1	3	1	1	2	1	2	NE	1	NE	2	2	1	NE	1	2	1	2	2	NE
Teledyne Webb Research G2 Slocum Glider	NE	1	1	3	1	1	2	1	2	NE	1	NE	2	2	1	NE	1	2	1	2	2	NE
Teledyne Webb Research Slocum Electric Glider (ou Battery Glider)	NE	1	1	3	1	1	2	1	2	NE	1	NE	2	2	1	NE	1	2	1	2	2	NE

- 1 Le capteur est supposé incompatible.
 - 2 Le capteur est compatible, mais doit être monté en externe, ou le capteur est susceptible d'utiliser presque toute la charge utile disponible.
 - 3 Le capteur peut être installé en toute facilité et d'autres charges peuvent être transportées.
- NE = Non évalué.

Les AUV légers et lourds (parfois respectivement désignés par les abréviations LWV et HWV) sont généralement lancés depuis un portique ou une grue à flèche, une rampe de lancement et récupération, ou un système de lancement et récupération spécialement conçu pour un type d'AUV. En général, dans le cadre des opérations de récupération, les AUV navigent ou dérivent à la surface. Les AUV ont habituellement des points de levage auxquels des sangles de récupération peuvent être attachées, ainsi qu'un anneau de récupération sur leur nez auquel un crochet déployé depuis une grue ou un bossoir peut être attaché. Cette méthode nécessite un nombre suffisant de personnes sachant se servir des équipements. Étant donné que, pour ces opérations, le personnel doit travailler près de l'AUV, la mer doit être relativement calme pour que les opérations de lancement et de récupération se déroulent sans danger. Certains systèmes permettent d'attacher le système de récupération à une longue perche (d'environ 10 m) en fibre de carbone.

La plupart des AUV peuvent également utiliser un LARS dédié pour éliminer la proximité de la méthode « au crochet ». Quand un AUV est lancé, le véhicule est libéré de sa station et glisse (la queue en premier) dans l'eau. L'AUV libère la ligne de récupération et le flotteur (depuis le nez) sur commande, et l'équipage les récupère alors à l'aide d'un grappin. Ces techniques ont déjà fait leurs preuves en pleine mer.

Les USV sont généralement lancés depuis une cale dans un port adjacent, puis se dirigent automatiquement vers la zone opérationnelle, ou sont lancés depuis un navire de soutien à l'aide d'un bossoir, d'une grue ou d'un portique, tout comme pour les AUV. Les USV ont des points de levage à l'avant et à l'arrière (les véhicules légers n'ont parfois qu'un seul point de levage). Les contraintes météorologiques limitant l'utilisation des USV sont identiques à celles que rencontrent les AUV. La méthode de fixation du système de récupération est également semblable à celle des USV, mais de façon bien plus contrôlable, à l'aide d'un mode de commande local quand un navire de soutien est utilisé.

Recommandations pour différents scénarios de déversements d'hydrocarbures

Les tableaux 9 à 14 fournissent des recommandations pour les capteurs et les véhicules à utiliser en combinaison dans chacun des cinq scénarios de déversement suivants :

1. Déversement dans un terminal côtier : petit déversement de surface.
2. Pétrolier naviguant au large : déversement moyen à 25 km de la côte et à une profondeur de 10 m.
3. Déversement depuis une plateforme offshore : petit déversement à 50 km de la côte et à une profondeur de 300 m.
4. Rupture d'oléoduc au large : petit déversement à 50 km de la côte et à une profondeur de 50 m pendant 5 jours.
5. Éruption de puits sous-marin : important déversement à 100 km de la côte et à une profondeur de 2 000 m.

La note de compatibilité est attribuée selon l'échelle de points suivante :

- 3 = Combinaison de véhicule et capteur haute priorité pour ce scénario.
- 2 = Combinaison de véhicule et capteur moyenne priorité pour ce scénario.
- 1 = Combinaison de véhicule et capteur faible priorité pour ce scénario.
- = Combinaison de véhicule et capteur incompatible.

Les notes accompagnées d'un astérisque (*) indiquent que les capteurs et les véhicules sont compatibles, mais sont peu susceptibles d'être disponibles sans investissement supplémentaire dans l'intégration et le développement du logiciel ou de l'algorithme.

Les tableaux 9 à 14 sont adaptés de Battelle, 2014.

Tableau 9 Recommandations de capteur/véhicule pour un déversement dans un terminal côtier : petit déversement de surface

Scénario 2 : Déversement dans un terminal côtier											
Groupe de capteurs	Capteur	Véhicules sous-marins				Véhicules de surface					
		Classes d'AUV			Planeurs	Classes d'ASV			Navires pilotés		
		AUV portables	AUV légers/lourds	AUV à grand déplacement		ASV houlomoteurs et éoliens	Petits ASV	Grands ASV	Navires d'opportunité	Grands navires	
Capteurs directs sous-marins	Fluoromètre	1*	1*	1*	1*	1*	2	2	2	2	2
	NDIR (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	1
Capteurs indirects sous-marins	CTD	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	OD (électrochimique)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	OD (optique)	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
	NDIR (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Turbidimètre	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2
Capteurs de navires de surface	LIDAR de fluorescence	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2
	Thermiques IR (optique)	-	-	-	-	-	2	2	2	3	3
	Optiques UV	-	-	-	-	-	1	1	1	2	2
	Optiques lumière visible	-	-	-	-	-	2	2	2	3	3

Déversement = Brut léger. Priorité : 3 = élevée, 2 = moyenne, 1 = faible, - = incompatible.

*La technologie existe mais des ressources supplémentaires doivent être investies dans l'intégration et le développement de logiciel ou d'algorithme.

Tableau 10 Recommandations de capteur/véhicule pour un navire-citerne naviguant au large : déversement moyen à 25 km de la côte et à une profondeur de 10 m

Groupe de capteurs		Capteur		Véhicules sous-marins						Véhicules de surface					
				Classes d'AUV			Planeurs	Classes d'ASV			Navires pilotés				
				AUV portables	AUV légers/lourds	AUV à grand déplacement		AUV houlomoteurs et éoliers	Petits ASV	Grands ASV	Navires d'opportunité	Grands navires			
Capteurs directs sous-marins	Fluoromètre	1*	2*	1*	1*	1*	3*	1	3	3	3				
	NDIR (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1				
Capteurs indirects sous-marins	CTD	1	2	1	1	1	3	1	3	3	3				
	OD (électrochimique)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	OD (optique)	1	2	1	1	1	3	1	3	3	3				
	NDIR (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
	Turbidimètre	1	2	1	1	1	3	1	3	3	3				
Capteurs de navires de surface	LIDAR de fluorescence	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2*		
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	3	3	3				
	Thermiques IR (optique)	-	-	-	-	-	-	1	3	3	3				
	Optiques UV	-	-	-	-	-	-	1	2	2	2				
	Optiques lumière visible	-	-	-	-	-	-	1	3	3	3				

Déversement = Brut léger. Priorité : 3 = élevée, 2 = moyenne, 1 = faible, - = incompatible.

*La technologie existe mais des ressources supplémentaires doivent être investies dans l'intégration et le développement de logiciel ou d'algorithme.

Tableau 11 Recommandations de capteur/véhicule pour une plateforme offshore : petit déversement à 50 km de la côte et à une profondeur de 0 m

Scénario 4a : Plateforme offshore (0 m de profondeur)												
Groupe de capteurs	Capteur	Véhicules sous-marins						Véhicules de surface				
		Classes d'AUV			Planeurs	Classes d'ASV				Navires pilotés		
		AUV portables	AUV légers/lourds	AUV à grand déplacement		ASV houlomoteurs et éoliens	Petits ASV	Grands ASV	Navires d'opportunité	Grands navires		
Capteurs directs sous-marins	Fluoromètre	1*	1*	1*	1*	1*	1*	2*	1	2	2	2
	NDIR (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1
Capteurs indirects sous-marins	CTD	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
	OD (électrochimique)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	OD (optique)	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
	NDIR (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Turbidimètre	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2
Capteurs de navires de surface	LIDAR de fluorescence	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3
	Thermiques IR (optique)	-	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3
	Optiques UV	-	-	-	-	-	-	-	1	2	2	3
	Optiques lumière visible	-	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3

Déversement = Brut léger. Priorité : 3 = élevée, 2 = moyenne, 1 = faible, - = incompatible.

*La technologie existe mais des ressources supplémentaires doivent être investies dans l'intégration et le développement de logiciel ou d'algorithme.

Tableau 12 Recommandations de capteur/véhicule pour une plateforme offshore : petit déversement à 50 km de la côte et à une profondeur de 300 m

Scénario 4b : Plateforme offshore (300 m de profondeur)												
Groupe de capteurs	Capteur	Véhicules sous-marins						Véhicules de surface				
		Classes d'AUV			Planeurs	Classes d'ASV			Navires pilotés			
		AUV portables	AUV légers/lourds	AUV à grand déplacement		ASV houlomoteurs et éoliens	Petits ASV	Grands ASV	Navires d'opportunité	Grands navires		
Capteurs directs sous-marins	Fluoromètre	2*	3*	2*	2*	2*	2*	1	3	2	3	
	NDIR (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	
Capteurs indirects sous-marins	CTD	2	3	2	2	2	2	1	3	2	3	
	OD (électrochimique)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	OD (optique)	2	3	2	2	2	2	1	3	2	3	
	NDIR (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Capteurs de navires de surface	Turbidimètre	2	3	2	2	2	2	1	3	2	3	
	LIDAR de fluorescence	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*	
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3	
	Thermiques IR (optique)	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3	
Optiques	Optiques UV	-	-	-	-	-	-	1	2	2	3	
	Optiques lumière visible	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3	

Déversement = Brut léger. Priorité : 3 = élevée, 2 = moyenne, 1 = faible, - = incompatible.

*La technologie existe mais des ressources supplémentaires doivent être investies dans l'intégration et le développement de logiciel ou d'algorithme.

Tableau 13 Recommandations de capteur/véhicule pour une rupture d'oléoduc au large : petit déversement à 50 km de la côte et à une profondeur de 50 m pendant 5 jours

Scénario 5 : Rupture d'oléoduc au large												
Groupe de capteurs	Capteur	Véhicules sous-marins						Véhicules de surface				
		Classes d'AUV			Planeurs	Classes d'ASV				Navires pilotés		
		AUV portables	AUV légers/lourds	AUV à grand déplacement		ASV houlomoteurs et éoliens	Petits ASV	Grands ASV	Navires d'opportunité	Grands navires		
Capteurs directs sous-marins	Fluoromètre	1*	3*	1*	1*	1*	2*	1	3	2	3	
	NDIR (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1*	1*	1	1	1	1	
Capteurs indirects sous-marins	CTD	1	3	1	1	1	2	1	3	2	3	
	OD (électrochimique)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	OD (optique)	1	3	1	1	1	2	1	3	2	3	
	NDIR (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Capteurs de navires de surface	Turbidimètre	1	3	1	1	1	2	1	3	2	3	
	LIDAR de fluorescence	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1*	
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	3	2	3	
	Thermiques IR (optique)	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3	
	Optiques UV	-	-	-	-	-	-	1	2	2	3	
	Optiques lumière visible	-	-	-	-	-	-	1	3	2	3	

Déversement = Brut léger. Priorité : 3 = élevée, 2 = moyenne, 1 = faible, - = incompatible.

*La technologie existe mais des ressources supplémentaires doivent être investies dans l'intégration et le développement de logiciel ou d'algorithme.

Tableau 14 Recommandations de capteur/véhicule pour une éruption de puits sous-marin : très important déversement à 100 km de la côte et à une profondeur de 2 000 m
 Scénario 6 : Éruption de puits à grande profondeur (comme pour l'accident de Macondo)

Groupe de capteurs	Capteur	Véhicules sous-marins						Véhicules de surface					
		Classes d'AUV			Planeurs	Classes d'ASV			Navires pilotés				
		AUV portables	AUV légers/lourds	AUV à grand déplacement		ASV houlomoteurs et éoliens	Petits ASV	Grands ASV	Navires d'opportunité	Grands navires			
Capteurs directs sous-marins	Fluoromètre	1*	3*	3*	3*	1	3*	1	3*	1	3	1	3
	NDIR (CH ₄)	1*	1*	1*	1*	1	1*	1	1*	1	1	1	1
Capteurs indirects sous-marins	CTD	1	3	3	3	1	3	1	3	1	3	1	3
	OD (électrochimique)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	OD (optique)	1	3	3	3	3	3	1	3	1	3	1	3
	NDIR (CO ₂)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Turbidimètre	1	3	3	3	3	3	1	3	1	3	1	3
Capteurs de navires de surface	LIDAR de fluorescence	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2*
	Radar	-	-	-	-	-	-	-	3	-	3	1	3
	Thermiques IR (optique)	-	-	-	-	-	-	1	3	1	3	1	3
	Optiques UV	-	-	-	-	-	-	1	3	1	3	1	3
	Optiques lumière visible	-	-	-	-	-	-	1	3	1	3	1	3

Déversement = Brut léger. Priorité : 3 = élevée, 2 = moyenne, 1 = faible, - = incompatible.

*La technologie existe mais des ressources supplémentaires doivent être investies dans l'intégration et le développement de logiciel ou d'algorithme.

Mise en place des moyens de surveillance sous-marine et de surface

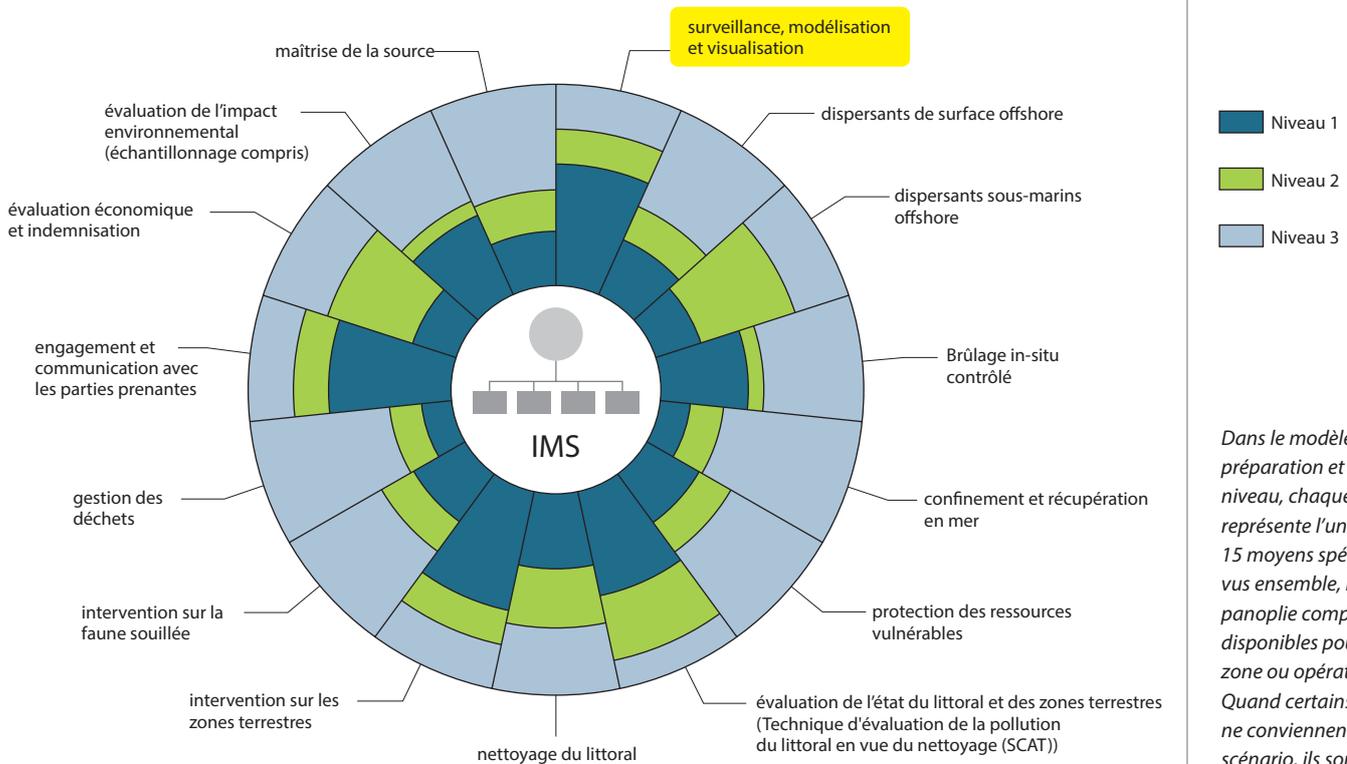
Fonction de la surveillance au sein du système de gestion des situations d'urgence

La surveillance est un élément clé de l'un des 15 moyens qui, dans leur ensemble, constituent un système intégré de préparation et de lutte par niveau. Les guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOPG sur la préparation et la lutte par niveau (IPIECA-IOPG, 2015a) et sur le système de gestion des situations d'urgence (IPIECA-IOPG, 2016a) fournissent des précisions à cet égard. Les informations figurant dans ces guides de bonnes pratiques orientent la prise de décisions d'une organisation concernant les ressources et les moyens à mettre en œuvre pour la surveillance sous-marine et de surface lors d'un évènement (ou d'un exercice) particulier.

La figure 4 est reproduite à partir du guide de bonnes pratiques sur la préparation et la lutte par niveau. Elle présente les 15 moyens, l'un d'entre eux se composant de la surveillance, la modélisation et la visualisation.

Il convient de remarquer qu'une opération de lutte par niveau doit utiliser la modélisation et la visualisation en complément de la surveillance. Les données de surveillance conjuguées aux prédictions des mouvements du déversement d'hydrocarbures doivent être converties en informations utiles, bien présentées et fournies à temps pour orienter les décisions prises lors de la lutte.

Figure 4 Modèle de préparation et de lutte par niveau



Dans le modèle de préparation et de lutte par niveau, chaque segment représente l'un des 15 moyens spécifiques qui, vus ensemble, illustrent la panoplie complète d'outils disponibles pour cette zone ou opération. Quand certains moyens ne conviennent pas au scénario, ils sont tout simplement laissés vides. Les divisions de chaque segment représentent les proportions relatives des ressources de niveau 1, 2 et 3 nécessaires au scénario correspondant.

Ressources de surveillance de surface et sous-marine dans le cadre d'une opération de lutte par niveau

Le choix des moyens de surveillance sous-marine ou de surface à stocker en interne doit être fait lors de la phase de planification de la lutte contre un déversement d'hydrocarbures.

Le Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP) s'est penché sur la planification de la lutte dans les grandes lignes en utilisant une approche fondée sur le risque. Le document IPIECA-IOGP, 2013 fournit des informations exhaustives en la matière, présente divers scénarios de planification et diverses analyses de risques, et explique comment déterminer les ressources de lutte à mettre en œuvre, notamment au niveau des équipements, du personnel et de la logistique.

Les questions suivantes peuvent faciliter la prise de décisions relatives aux activités de surveillance de surface et sous-marine :

- La législation en vigueur impose-t-elle des obligations particulières en matière de technologies de surveillance et, si oui, que faut-il faire pour s'y conformer ?
- Les centres locaux ou nationaux stockent-ils des technologies adaptées pouvant être rapidement mobilisées dans le cadre d'une opération de lutte (c'est-à-dire des moyens de niveau 2 et 3) ?
- Ces ressources répondent-elles aux exigences de la législation locale ?
- A-t-on obtenu les autorisations préalables nécessaires ou a-t-on mis en place des processus adéquats s'il s'avère nécessaire d'importer les technologies ?
- Les contrats ou accords d'utilisation nécessaires ont-ils été conclus pour accéder à ces ressources ?
- Existe-t-il des plans fiables de gestion du risque et des procédures de sécurité adéquates pour assurer le déploiement de systèmes autonomes marins en toute sécurité, ainsi que pour la mise en œuvre globale du programme de surveillance de surface et sous-marine ?
- Quel soutien logistique (p. ex. navires) sera nécessaire pour appuyer les technologies de surveillance prévues (p. ex. AUV, ASV et USV) ?
- A-t-on conclu des contrats de location ou des ententes de réciprocité pour assurer la disponibilité de navires adaptés au déploiement des technologies ?
- Le personnel disponible est-il compétent et a-t-il suivi les formations nécessaires au déploiement des équipements ?
- S'agit-il d'employés de l'opérateur ou de prestataires externes engagés avec les équipements ?
- L'étalonnage des instruments a-t-il eu lieu et a-t-il été documenté ?
- Les instruments sont-ils disponibles pour le déploiement ?
- Les capteurs adaptés à la nature des hydrocarbures déversés ont-ils été embarqués sur les plateformes de surveillance sous-marine et de surface ?
- La gamme de ressources disponibles convient-elle à l'environnement et aux profondeurs du site de l'accident ?
- Est-il nécessaire d'obtenir certaines autorisations préalables pour le déploiement des systèmes de surveillance ? Cela peut notamment être nécessaire pour les systèmes autonomes pouvant parcourir de longues distances.
- Est-il nécessaire de mobiliser une équipe scientifique pour accompagner les équipements et encadrer les activités de suivi ? Les objectifs de l'équipe scientifique sont-ils compatibles avec ceux de l'opération de lutte ? Le système de gestion des situations d'urgence de l'organisation est-il en mesure de gérer l'équipe scientifique ?
- Comment les données relevées par les différents systèmes et plateformes de détection seront-elles transmises au système de gestion des situations d'urgence en temps réel ou quasi réel ?
- Le système de gestion des situations d'urgence de l'organisation est-il capable d'intégrer rapidement à la COP les informations obtenues par le biais de la surveillance sous-marine et de surface ?
- Des essais ont-ils été réalisés dans le cadre d'exercices pratiques ou d'entraînement pour s'assurer que les équipements fonctionneront comme prévu et que les données peuvent être communiquées et affichées par le système COP ?

L'importance de la planification des moyens de surveillance ne saurait être exagérée. Une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures n'a aucune chance de réussite si elle dépend de plateformes et de capteurs dont la disponibilité n'a pas été préparée avec soin.

Surveillance de surface et sous-marine et suivi de l'injection de dispersant en milieu sous-marin

L'une des principales fonctions de la surveillance de surface et sous-marine est de suivre l'efficacité de l'injection sous-marine de dispersant (SSDI). La plupart des questions ci-dessus font partie d'un examen plus complet réalisé durant la phase de planification, lorsque l'utilisation de la méthode SSDI est envisagée. Un plan détaillé de suivi et de surveillance sous-marine et de surface permet d'identifier les fournitures, les équipements, le personnel et les activités nécessaires à l'utilisation et l'évaluation efficaces de la méthode SSDI en cas de déversement. La préparation de ces activités par le biais de la planification de l'opération de lutte engendre des résultats plus efficaces pendant l'opération elle-même.

Ces questions sont traitées en détail dans le guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur l'injection de dispersant en milieu sous-marin (IPIECA-IOGP, 2015b). Cette publication fait un tour d'horizon des activités de suivi et d'évaluation en milieu sous-marin mises en œuvre pour répondre à l'accident de Macondo, dans le golfe du Mexique, en 2010, lors duquel la méthode SSDI a été utilisée pour la première fois dans le cadre d'une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures. Elle examine également en détail les activités de suivi de la colonne d'eau réalisées durant l'opération de lutte contre l'accident de Macondo.

Dans le domaine du suivi sous-marin, trois des principaux objectifs d'une opération de lutte sont les suivants (voir aussi les pages 37 à 40) :

- suivre l'application de dispersant en milieu sous-marin et évaluer son efficacité ;
- caractériser le comportement et l'étendue des panaches d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau ;
- réaliser une évaluation initiale des effets écologiques potentiels en rapport avec la prise de décisions opérationnelles.

Quand un déversement d'hydrocarbures se produit en milieu sous-marin, il est probable qu'une partie des hydrocarbures remonte à la surface, où des techniques de suivi classiques pourront alors être employées. Il est souvent possible de déployer des navires et véhicules de surface pilotés ou autonomes, ainsi que des systèmes de surveillance aérienne ou satellite. Les guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur l'observation aérienne (IPIECA-IMO- IOGP, 2015) et sur la télédétection par voie satellite (IPIECA-IOGP, 2016b) fournissent des précisions à cet égard. Il convient de remarquer que la surveillance de surface peut utiliser les technologies liées aux protocoles du programme Special Monitoring of Applied Response Technologies (SMART) (NOAA, 2006).



Image modifiée à partir de la vidéo de BP obtenue par les ROV

Les images à gauche montrent l'injection de dispersant directement dans la panache d'hydrocarbures et de gaz s'échappant par la tête de puits cassée lors de l'accident de Macondo, en 2010. Le dispersant a été injecté dans la panache à l'aide d'une « lance » ou « perche » tenue par un ROV et guidée par l'opérateur de ce ROV.

L'intégration du large éventail d'informations obtenues par le biais de la surveillance au système de gestion des situations d'urgence (IMS) est prise en charge par le système de situation opérationnelle commune (COP). Le Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP) a recommandé une pratique pour la COP (IPIECA-IOGP, 2015d), qui est présentée aux pages 42 et 43 du présent guide.

La surveillance de surface et sous-marine peut également être utilisée pour surveiller les paramètres physiques et chimiques de la colonne d'eau, afin de mieux comprendre les effets d'un déversement sur l'environnement. Les valeurs des paramètres physiques, telles que la température, la conductivité (salinité) et les courants océaniques, peuvent constituer des données précieuses pour élaborer les modèles hydrodynamiques et les modèles du panache d'hydrocarbures. Pour maximiser ces avantages en faveur de la prise de décisions opérationnelles, ces données doivent être récupérées et transmises en temps réel (ou quasi réel). L'assimilation des données par les modèles de déversement d'hydrocarbures améliore considérablement la qualité des prédictions qu'ils génèrent sur le déplacement des hydrocarbures, ce qui favorise donc la prise de décisions. Il convient de planifier l'intégration des modèles de déversement à la COP longtemps avant un déversement, et cette activité doit être testée par le biais d'exercices pratiques ou d'entraînement.

Si une organisation décide de s'équiper en interne (c'est-à-dire en achetant des plateformes et des capteurs) pour la surveillance de surface et sous-marine, elle doit organiser ces ressources avec un grand soin. Il est notamment nécessaire d'entretenir régulièrement les systèmes et d'étalonner les capteurs. Des procédures adaptées doivent être établies pour que les batteries utilisées dans les véhicules et les capteurs soient prêtes et puissent être déployées avec un préavis minimal lors d'un exercice ou d'une opération de lutte. Il est important, dans le cadre de l'acquisition de ces ressources en interne, de déterminer dès le départ si les équipements :

- seront dédiés (c'est-à-dire non utilisés à d'autres fins) ou partagés (p. ex. avec d'autres entités du secteur) ;
- seront adaptés à l'objectif visé (pour souligner leur destination opérationnelle) ; et
- auront un cycle d'entretien unique ou pourront être rapidement déployés (pour souligner leur niveau élevé de disponibilité).

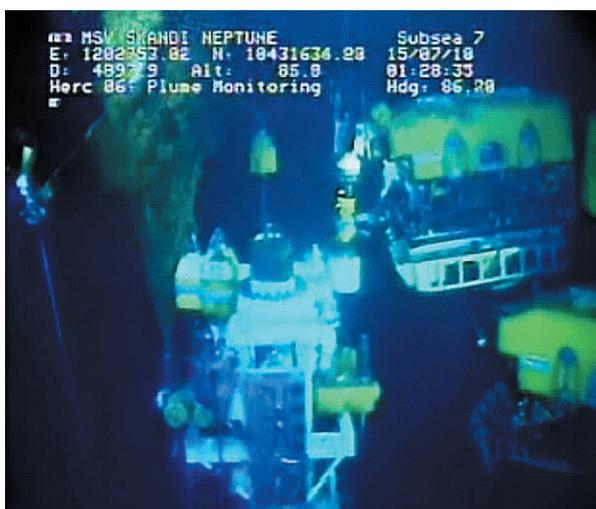
En plus des équipements de surveillance de surface et sous-marine, il est nécessaire de former le personnel à ces activités. Les descriptifs de poste, les responsabilités et la chaîne de commandement doivent être clairement identifiés, et une stratégie de communication adaptée entre les divers groupes doit être élaborée, notamment pour l'équipe de suivi et l'équipe scientifique, le groupe planification et logistique, le personnel COP et SIG, etc. Les parties prenantes clés du groupe de gestion d'une situation d'urgence doivent bien connaître et soutenir les technologies et le personnel de surveillance de surface et sous-marine afin de maximiser les avantages de leur recrutement et d'assurer leur fidélité à l'organisation.

Une approche alternative consiste à obtenir des ressources et du personnel de surveillance de surface et sous-marine au niveau régional. À titre d'exemple, il existe le programme régional de lutte disponible dans le golfe du Mexique sous la direction de la Marine Well Containment Company (MWCC). Ce programme met à disposition des équipements et du personnel adéquats pour appliquer les directives de suivi de la méthode SSDI recommandées par l'API (2013a).

Déploiement des technologies dans le cadre d'une opération de lutte en milieu sous-marin

L'American Petroleum Institute (API) a élaboré des lignes directrices destinées au secteur en matière de suivi opérationnel lors de la mise en œuvre de la méthode d'injection sous-marine de dispersant (API, 2013a). Les données de suivi sont utilisées pour déterminer s'il faut continuer ou modifier l'utilisation de dispersant en milieu sous-marin lors d'une opération de lutte contre un déversement. La plupart des directives fournies par l'API sont généralement applicables à la surveillance de surface et sous-marine. Le suivi des opérations SSDI permet la collecte en temps réel ou quasi réel de données de suivi susceptibles d'éclairer les décisions opérationnelles prises pour la période opérationnelle en cours.

Les données de suivi qui ne sont pas transmises au système de gestion des situations d'urgence (IMS) par le biais de la COP ne peuvent soutenir les décisions opérationnelles, mais peuvent s'avérer utiles par la suite, lors des évaluations réalisées après le déversement. Les stratégies de suivi conçues pour les évaluations environnementales peuvent également utiliser bon nombre des plateformes et des capteurs examinés dans le présent guide, bien qu'une grande partie des données recueillies devra faire l'objet d'analyses et d'interprétations détaillées pour être utilisées dans le cadre des évaluations environnementales faisant suite au déversement. Ce sujet n'est pas examiné plus en détail dans le présent guide.



Framepool

Les données de suivi sont utiles pour déterminer s'il faut continuer ou modifier l'utilisation de dispersant en milieu sous-marin lors d'une opération de lutte contre un déversement. L'image à gauche montre trois ROV qui suivent le panache d'hydrocarbures et de gaz s'échappant par la tête de puits lors de l'accident de Macondo, en 2010.

En fonction de l'emplacement et de la nature du déversement d'hydrocarbures, le déploiement des ressources de surveillance sous-marine et de surface sur le terrain peut prendre plusieurs jours. La législation locale peut exiger que ces ressources de suivi soient présentes avant que les opérations SSDI ne puissent démarrer. Si, pour protéger la santé et de la sécurité des travailleurs, ainsi que pour protéger les zones écologiquement vulnérables à la surface et sur le littoral, il est préférable d'utiliser la méthode SSDI dès que possible après un déversement sous-marin, il devrait être possible, dans la plupart des cas, de préparer les ressources de suivi sur le terrain pour lancer des procédures de suivi plus sophistiquées en même temps que l'injection de dispersant.

Suivi du dispersant en milieu sous-marin

Comme l'ont fait remarquer l'API (2013a) et le guide de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP sur l'application de dispersant en milieu sous-marin (IPIECA-IOGP, 2015b), le suivi des activités SSDI vise trois objectifs clés :

1. suivre l'application de dispersant en milieu sous-marin et évaluer son efficacité ;
2. caractériser le comportement et l'étendue des panaches d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau ;
3. réaliser une évaluation initiale des effets écologiques potentiels en rapport avec la prise de décisions opérationnelles.

Ces phases sont agencées chronologiquement et leur complexité augmente avec le temps. Bien que l'idéal soit de mettre en œuvre ces phases de façon simultanée, certaines contraintes logistiques peuvent exiger l'approche progressive préconisée par l'API. Chaque phase est présentée en détail ci-dessous.

Phase 1 : Évaluation de l'efficacité de l'utilisation de dispersant en milieu sous-marin

Avant le démarrage des activités SSDI, il est nécessaire d'observer le point d'injection proposé afin de déterminer les conditions de référence et d'orienter le choix des méthodes d'injection de dispersant et des taux d'injection. Ce suivi initial permet de :

- caractériser la distribution spatio-temporelle du déversement d'hydrocarbures en milieu sous-marin ;
- estimer les débits de pétrole et de gaz ; et
- déterminer les propriétés et le comportement des hydrocarbures déversés.

Le suivi sous-marin se compose des éléments suivants :

- Évaluation visuelle à partir des ROV équipés de caméras : les images peuvent être analysées pour déterminer si le nuage visible d'hydrocarbures change de couleur, de densité ou de forme.
- Évaluation acoustique au sonar à l'aide de données rétrodiffusées depuis un dispositif monté sur un ROV : un sonar, à une fréquence adéquate, renvoie normalement un signal fort avant l'injection de dispersant, mais un signal beaucoup plus faible après l'injection.
- Les derniers travaux de l'API et de SINTEF ont donné lieu au développement de la SilCam (caméra silhouette), qui permet de déterminer avec une plus grande précision la distribution des tailles de gouttelettes et le rapport hydrocarbures-gaz.

En plus du suivi sous-marin, la surveillance réalisée à la surface et depuis des sources aériennes orientent également l'évaluation de la façon suivante :

- Les images aériennes sont utilisées pour évaluer l'aspect et l'étendue de la nappe d'hydrocarbures : la comparaison des images capturées avant et après l'application de la méthode SSDI permet de déterminer si la quantité d'hydrocarbures remontant à la surface a diminué.
- Les navires proches de la source du déversement peuvent être utilisés pour surveiller les COV et le pourcentage de la limite inférieure d'explosivité (LIE). Bien qu'une réduction considérable de la quantité de COV soit prévisible si l'injection sous-marine de dispersant a été efficace, les informations recueillies lors de l'accident de Macondo dans le golfe du Mexique en 2010 révèlent que le processus est complexe et que la corrélation n'est pas nécessairement aussi étroite que les études théoriques ne l'avaient indiqué.

Il est recommandé d'élaborer un programme formel de suivi COV/LIE dans le cadre duquel une modélisation numérique est effectuée. L'approche « sécurité avant tout » est préconisée pendant les situations d'urgence et lors des exercices ayant recours aux dispersants pour maîtriser la source en toute sécurité.

L'un des risques liés aux activités de suivi réalisées depuis des navires de surface pilotés est l'exposition du personnel aux effets nocifs des COV. Le suivi des valeurs limites d'exposition professionnelle peut être plus facile si les membres du personnel présents au large portent des badges de suivi de vapeur. Idéalement, ce suivi des COV a lieu à l'aide de systèmes marins autonomes ou de drones aériens convenablement équipés, ce qui réduit le risque pour la santé et la sécurité du personnel de lutte et des autres personnes présentes sur place.

Phase 2 : Caractérisation du comportement et de l'étendue des panaches d'hydrocarbures dispersés dans la colonne d'eau

Cette phase de suivi sous-marin et de surface vise les objectifs suivants :

- déterminer l'emplacement, l'étendue et les caractéristiques des hydrocarbures dissous et dispersés dans la colonne d'eau ;
- caractériser le mouvement latéral et vertical des hydrocarbures dissous et dispersés ; et
- documenter les changements de concentration des hydrocarbures alors qu'ils s'éloignent de la source.

La principale stratégie de suivi nécessite un navire de surface adapté. Il doit être équipé d'un portique et d'un treuil pour déployer un système CTD capable de mesurer la conductivité, la température et la profondeur. En général, le système CTD est également accompagné d'une rosette pour le prélèvement d'eau et de bouteilles de Niskin, d'un fluoromètre et d'un capteur d'oxygène dissous. Des échantillons d'eau sont prélevés à des profondeurs déterminées par les résultats des valeurs prises par le CTD pour des stations sélectionnées, puis sont conservés afin de faire l'objet d'analyses détaillées. Pour les mesures de l'oxygène dissous, les échantillons d'eau doivent être prélevés à des profondeurs supérieures, égales et inférieures à tout niveau présentant une augmentation de la réponse fluorométrique. Après la récupération des instruments, les échantillons d'eau doivent être placés dans des conteneurs adéquats avec les métadonnées correspondantes, puis conservés en vue d'être analysés.

En plus du système CTD, un analyseur de tailles de particules en profondeur (p. ex. LISST, SilCam) peut être déployé pour fournir des mesures in-situ et en temps réel de la répartition des tailles des gouttelettes d'hydrocarbures dispersées. Une réduction importante de la taille des gouttelettes est révélatrice de la dispersion des hydrocarbures.

Les données océanographiques locales alliées aux modèles hydrodynamiques éventuellement disponibles permettent de déterminer la direction probable du mouvement des hydrocarbures en milieu sous-marin. La détermination des points d'échantillonnage d'eau doit découler des informations obtenues à partir d'un modèle 3D fiable de déversement sous-marin d'hydrocarbures. Étant donné que ces modèles font constamment l'objet de développements et d'améliorations, il faut veiller à utiliser les dernières versions. Idéalement, le modèle sélectionné doit être validé dans le cadre du processus de planification. Des directives sur la validation des modèles hydrodynamiques ont été préparées par le Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP) (Actimar, 2015a).

La fiabilité d'un modèle de déversement d'hydrocarbures dépend entièrement des conditions atmosphériques et hydrodynamiques saisies pour sa création et son exploitation. Par conséquent, quand cela est possible, des données météorologiques et océanographiques provenant de la zone du déversement doivent être assimilées par le système de modélisation en temps réel ou quasi réel. Le Global Ocean Observing System (GOOS) fournit des données océanographiques à l'échelle internationale, dont un grand nombre sont facilement accessibles. Une étude mondiale récente des systèmes de surveillance océanique a été publiée dans *Ocean News & Technology* (2015). Le rôle de l'assimilation dans les modèles océaniques a fait l'objet de nombreuses études dans le cadre du Global Ocean Data Assimilation Experiment (GODAE) de l'ONU. Un résumé de ces travaux de recherche et des derniers résultats est disponible dans un numéro spécial du *Journal of Operational Oceanography* récemment paru (IMarEST, 2015).

Un tour d'horizon des bases de données météorologiques et océanographiques et des ressources disponibles par bassin océanique est présenté dans le rapport préparé par Actimar pour le Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP) (2015b). De plus, ce rapport examine de façon complète un grand nombre de modèles atmosphériques

et hydrodynamiques disponibles. Il couvre toutes sortes de modèles, des modèles globaux aux modèles élaborés pour un bassin particulier, puis effectue des recommandations sur les modèles les mieux adaptés à chaque bassin.

Les informations produites par les modèles de déversement d'hydrocarbures peuvent être analysées à la lumière des observations des panaches dans la colonne d'eau et à la surface. Il peut être nécessaire d'exécuter plusieurs modèles différents, ou d'utiliser un seul modèle de panache faisant appel à plusieurs seuils hydrodynamiques, afin d'obtenir une prédiction « de consensus » sur l'emplacement le plus probable du panache et pour déterminer les sites où devront avoir lieu les futurs prélèvements d'échantillons.

S'il n'existe aucun modèle pour appuyer le choix des sites d'échantillonnage, il convient d'élaborer une grille d'échantillonnage dont le point de déversement constitue le centre. Des stations doivent être établies selon un motif radial s'étendant à des distances fixes depuis le centre. De plus, les valeurs relevées par le fluoromètre lors de chaque lancement du dispositif CTD et les mesures obtenues par diffusion de la lumière doivent servir à déterminer la trajectoire suivie par les hydrocarbures dispersés. De plus, les stations d'échantillonnage adaptatif peuvent être utilisées pour compléter les stations fixes au fur et à mesure que le scénario de déversement évolue.

Quelle que soit la façon dont l'échantillonnage est agencé, il faut s'assurer que les opérations des navires de suivi et des ROV soient adaptées aux autres activités logistiques mises en œuvre sur le site du déversement. Les décisions sur les opérations simultanées (SIMOPS) font partie intégrante du système de gestion des situations d'urgence (IMS). Il sera nécessaire d'intégrer à la COP les informations détaillées et à jour sur l'emplacement des navires, des plateformes et des capteurs chargés des opérations de surveillance et de suivi marins et sous-marins pour faciliter cette prise de décisions.

Phase 3 : Évaluation initiale des effets écologiques potentiels

Cette phase de suivi vise à caractériser pleinement tous les échantillons d'eau prélevés lors des lancements de dispositif CTD à l'aide de techniques de pointe pour l'analyse en laboratoire des analytes de pétrole et des marqueurs de dispersant. Les échantillons d'eau doivent être transportés jusqu'à la côte, puis rapidement transférés vers un laboratoire certifié et agréé en employant des procédures préservant l'intégrité de la chaîne de contrôle lors de leur transport. Les délais de transport maritime, de transfert et de traitement en laboratoire peuvent représenter un minimum de cinq jours pour le traitement d'un échantillon en fonction du lieu où s'est produit l'accident. Pour un accident de grande envergure donnant lieu au prélèvement d'un grand nombre d'échantillons, au moins 7 à 10 jours peuvent s'écouler avant de recevoir des résultats d'analyse conformes aux normes en vigueur pour l'assurance et le contrôle qualité. Il est peu probable qu'il existe de nombreux endroits au monde disposant de laboratoires suffisamment bien équipés pour réaliser, dans le cadre de la phase d'échantillonnage d'eau et de suivi, des analyses toxicologiques et chimiques à un niveau semblable à l'intervention lancée lors de l'accident de Macondo.

Lors d'un exercice de surveillance ou de collecte de données, il est important de comprendre et de déterminer les normes, les seuils et les raisons de la collecte des données qui seront restituées dans le cadre de l'exercice. Cela permettra de recueillir des données pertinentes et susceptibles d'orienter la lutte, ou des données confirmant la présence ou l'absence d'un impact négatif par rapport à des valeurs de référence préalablement déterminées.

Planification de l'assurance qualité

Il est nécessaire d'élaborer un plan de projet d'assurance qualité (Quality Assurance Project Plan – QAPP en anglais) adéquat fournissant une méthodologie de collecte et de traitement d'échantillons, ainsi que des procédures de chaîne de contrôle et de décontamination, afin que les données recueillies et conservées soient de la meilleure qualité possible. Le QAPP doit inclure :

- une introduction identifiant les objectifs du projet et son équipe ;
- une description du site et des informations contextuelles, telles que la bathymétrie, les courants océaniques et d'autres caractéristiques sédimentaires et géologiques pertinentes, sachant que la description doit identifier tout suintement naturel d'hydrocarbures et toute infrastructure d'exploitation de gaz naturel dans la zone ;
- une description des protocoles d'échantillonnage et de suivi, des objectifs de qualité de données, et des stratégies de santé et sécurité ; et
- des normes d'assurance qualité relatives aux procédures de chaîne de contrôle, à la création de documents sur le terrain et à la gestion des données qualitatives, y compris les images et les vidéos.

Utilisation et communication des données et des informations

Des volumes considérables de données de surveillance provenant de sources très différentes ont été produits lors de la lutte contre l'accident de Macondo en 2010. Le défi consistant à transformer cette quantité colossale de données en informations utiles aux intervenants est devenu un enjeu crucial de l'opération de lutte. La valeur des études existantes (p. ex. évaluations des vulnérabilités environnementales) et des données de référence ne doit donc pas être sous-estimée, et il convient de les intégrer à la situation opérationnelle commune (COP) dès la phase de planification préalable. Cela accélèrera la prise de décisions en cas de situation d'urgence, lorsque le centre de commandement recevra des volumes importants de nouvelles données et informations provenant de l'accident ou de l'exercice.

La disponibilité d'informations exactes, à jour et rattachées à des références géographiques précises est vitale pour la prise de décisions opérationnelles et stratégiques. Certains obstacles empêchant d'obtenir une sensibilisation à la situation totale et synchronisée ont été identifiés lors de l'opération de lutte contre l'accident de Macondo. Il s'agit notamment des obstacles suivants (USCG, 2011) :

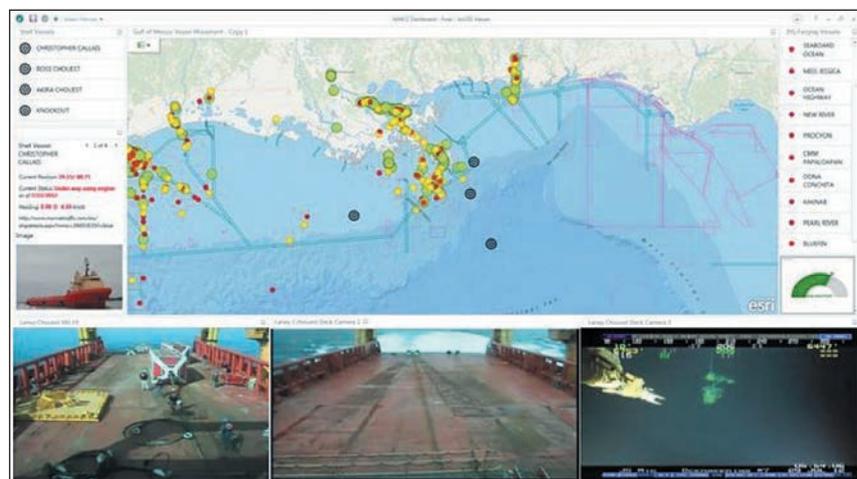
- mésestante sur les données à suivre et à transmettre ;
- grande étendue géographique de la zone des opérations ;
- manque de disponibilité de technologies de communication interopérables ;
- difficultés à transmettre les données en temps réel le long des lignes de communication verticales et transversales de l'organisation chargée de la lutte ;
- différentes normes informatiques.

Situation opérationnelle commune (COP)

Les enseignements tirés de l'étude de ces obstacles au sein du Projet de coopération industrielle dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP) ont donné lieu à l'élaboration d'une pratique recommandée pour l'architecture de situation opérationnelle commune (COP) (IPIECA-IOGP, 2015d). En suivant les directives rattachées à cette pratique, il est possible de parer à un grand nombre des problèmes ayant freiné la prise de décisions lors de l'accident de Macondo. L'un des éléments les plus importants est la création d'un plan de gestion des informations (Information Management Plan – IMP en anglais), qui doit inclure :

- les normes de données déterminées ;
- les notifications requises sur le terrain ;
- les formats dans lesquels les informations doivent être présentées ;
- la politique de contrôle de l'accès ; et
- les obligations d'archivage de données.

Exemple de tableau de bord géospatial de la situation opérationnelle commune (COP) lors d'une opération de lutte contre un déversement d'hydrocarbures.



Les éléments suivants revêtent une importance toute particulière dans le domaine de la surveillance de surface et sous-marine :

- référencement géographique précis des données de surveillance sur un système de coordonnées commun ;
- données de référence verticales adaptées à l'emplacement (p. ex. niveau moyen de la mer, zéro hydrographique) ;
- métadonnées décrivant la source, l'emplacement, l'échantillonnage et les unités et formats de sorties des flux de données entrantes, y compris des données provenant de sources vidéo ;
- formats de données conformes aux normes Open Geospatial Consortium (OGC)¹, sachant qu'un grand nombre de systèmes de détection sous-marine existants utilisent des formats internes qui ne sont pas conformes aux normes OGC (Battelle, 2014) ;
- balisage des ressources opérationnelles pour faciliter l'identification et le suivi de l'utilisation des équipements et des ressources, p. ex. l'utilisation de systèmes d'identification automatique (SIA) à bord des navires de surface ;
- systèmes et procédures pour le traitement et l'analyse des données entrantes afin de générer des informations utiles à l'équipe chargée de prendre les décisions opérationnelles, avec notamment l'intégration d'autres données et informations disponibles au sein de la COP, et l'intervention d'experts pour réaliser les évaluations globales ;
- conservation de l'historique de traitement et de flux des informations et produits générés pour les évaluations réalisées après le déversement.

Modélisation des déversements d'hydrocarbures

La modélisation d'un déversement d'hydrocarbures dans le cadre d'une opération de lutte se compose de trois éléments principaux :

1. modélisation de la trajectoire d'un déversement ou d'un panache d'hydrocarbures ;
2. modélisation hydrodynamique et atmosphérique de paramètres tels que les vagues, les courants et les vents affectant les modèles du déversement et du panache ;
3. modélisation atmosphérique pour les COV et les LIE.

Le choix des modèles les plus adaptés doit être fait par des spécialistes environnementaux et météorologiques et océanographiques du secteur. Comme indiqué précédemment, les modèles de déversement d'hydrocarbures sont fiables uniquement si les conditions atmosphériques et hydrodynamiques saisies lors de leur démarrage et de leur exploitation sont de qualité. Les résultats obtenus à partir d'un modèle doivent être validés par rapport aux constatations faites sur le terrain et aux informations de surveillance. Si plusieurs modèles sont utilisés, le modèle produisant les données les plus exactes n'est pas forcément le même chaque jour, en fonction des conditions hydrodynamiques et atmosphériques en jeu.

La situation opérationnelle commune (COP) reçoit souvent les données des modèles sous différents formats. De plus, l'intégration des données produites par les modèles aux données météorologiques et océanographiques (metocean) et aux données issues des observations faites sur le terrain peut présenter certaines difficultés en raison de la grande diversité des formats utilisés. Quand cela est possible, il convient de déterminer et codifier les formats lors de la phase de planification, puis de tester les décisions prises lors d'exercices pratiques et d'entraînement pour s'assurer que les informations sont rapidement exploitables par l'équipe d'intervention.

¹ L'Open Geospatial Consortium (OGC) est un consortium international de plus de 480 sociétés, organismes gouvernementaux, établissements de recherche et universités participant à un processus de consensus pour élaborer des normes géospatiales ouvertes. Les normes OGC prennent en charge les solutions interopérables qui promeuvent le référencement géographique des services web, sans fil et géodépendants, ainsi que les services d'informatique traditionnelle. Les normes OGC permettent aux développeurs de technologie de mettre à disposition des informations et des services géospatiaux pour toute application nécessitant des fonctions géospatiales. www.opengeospatial.org

Innovations et avancées technologiques futures

La surveillance de surface et sous-marine est l'un des divers domaines de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures faisant actuellement l'objet de développements technologiques rapides, avec notamment des avancées dans la technologie des capteurs, les plateformes hôtes, les systèmes logiciels et la technologie des batteries. De plus, les outils de modélisation et de visualisation nécessaires à la transmission des informations de surveillance aux équipes d'intervention évoluent eux aussi rapidement.

Aux États-Unis, l'Interagency Coordinating Committee on Oil Pollution Research (ICCOPR) a récemment publié son plan sur six ans pour la recherche et le développement de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures (ICCOPR, 2015). Ce plan comporte des sections consacrées à la détection et la surveillance des déversements d'hydrocarbures. Un rapport prévisionnel semblable a également été préparé par une équipe d'experts pour la Société royale du Canada (Lee *et al.*, 2015).

Le Saab Sabretooth représente un nouveau développement de la technologie de surveillance sous-marine hybride AUV/ROV. Il combine la technologie de navigation de surface aux fonctions de plongée en eaux profondes tout en bénéficiant d'une grande autonomie et d'une grande puissance pour réaliser des études à grande vitesse malgré des courants forts.

Plateformes hôtes

Le développement technologique des plateformes de surveillance de surface et sous-marine évolue rapidement. Les innovations ont lieu dans de nombreux domaines. Certaines d'entre elles sont brièvement présentées ci-dessous et, avec un développement et des essais adaptés, sont susceptibles d'améliorer considérablement les possibilités de la lutte contre les déversements d'hydrocarbures dans les années à venir.

Il existe également des véhicules hybrides combinant les caractéristiques des AUV et des ROV en cours de développement. Cette technologie, qui avait initialement été développée pour les applications militaires et pour les activités d'inspection et d'intervention liées au secteur du pétrole et du gaz offshore, peut être adaptée aux missions de surveillance des déversements d'hydrocarbures. À titre d'exemple, le Saab Sabretooth peut fonctionner comme un AUV/ROV de surface tout en plongeant à de grandes profondeurs. Il peut être commandé par un opérateur par le biais d'une liaison fine en fibre optique, et il peut également être détaché et fonctionner de façon autonome. L'AUV est capable d'éviter les obstacles, d'adapter son comportement à son environnement, de naviguer en surface et de se fixer à une station d'accueil sous-marine. Ces stations d'accueil sous-marines lui permettent de recharger ses batteries et télécharger des données, ce qui favorise les déploiements durant plus de six mois sans maintenance, ce qui élimine la nécessité et les coûts liés aux navires de soutien en surface.



La robotique marine est un domaine suscitant beaucoup d'intérêt (et un financement considérable) dans certains pays. L'Union européenne finance ces travaux par le biais de son programme Horizon 2020, qui a pour but de concevoir des planeurs océaniques capables de plonger à des profondeurs de 2 400 à 5 000 mètres. Au Royaume-Uni, le Marine Robotics Innovation Centre est rattaché au National Oceanography Centre à Southampton et reçoit un investissement important de la part du gouvernement. Une grande partie des travaux effectués au Marine Robotics Innovation Centre sont destinés à améliorer l'efficacité et la rentabilité du suivi océanique international à des fins scientifiques, militaires ou commerciales. Dans le domaine de la science marine, la possibilité d'utiliser des systèmes autonomes pour certaines observations marines au lieu de déployer des navires de recherche, qui entraînent de nombreux frais de personnel, de maintenance et d'exploitation, est à l'étude.

Bon nombre des résultats obtenus par le Marine Robotics Innovation Centre et par d'autres centres de recherche marine pourraient être applicables au suivi sous-marin des déversements d'hydrocarbures, comme le révèlent les exemples suivants :

- Des travaux sont en cours pour améliorer le suivi des paramètres océaniques à l'aide de systèmes d'échantillonnage intelligent et adaptatif pour les événements éphémères. Ces travaux sont susceptibles d'avoir des applications pour la surveillance de surface et sous-marine des panaches d'hydrocarbures, entre autres.
- Des études sont en cours pour évaluer le potentiel de communication en temps réel entre les AUV afin de leur permettre de fonctionner en tandem et non de façon isolée.
- Le rôle des ASV est en cours d'amélioration pour permettre les communications entre un véhicule de surface et une flotte d'AUV travaillant dans une même zone. Il est prévu qu'un ASV serve de système de lancement d'AUV et de centre de commandement et de communication pour intégrer les signaux émis par les systèmes de détection sous-marins et de surface dont sont équipés les ASV, les AUV et les ROV.

Ce genre de développement est susceptible d'améliorer le fonctionnement simultané des ressources de suivi en cas de déversement. Il existe cependant certaines questions législatives à considérer concernant l'utilisation des systèmes autonomes marins en général. Ces questions sont actuellement débattues dans des forums internationaux, notamment au sein de l'Organisation maritime internationale (OMI).

Le Maritime Autonomous Systems Regulatory Working Group (MASRWG), au Royaume-Uni, prépare actuellement un code de conduite et un code de pratique pour l'utilisation sûre des USV destinés au secteur, et travaille en collaboration avec un certain nombre de partenaires internationaux pour aboutir à un consensus pour l'inclusion des USV dans les documents juridiques de l'OMI, tels que les Conventions COLREG, SOLAS, STCW et MARPOL.

Communications et batteries

Les limites des taux de transfert de données sous-marines sans fil sont actuellement examinées et des technologies autres que la transmission acoustique sont à l'étude. La technologie BlueComm en est un exemple. Il s'agit d'un système optique de courte portée développé par Lumasys, Inc., qui est capable d'assurer la transmission de données à large bande passante et à grande vitesse sur des distances pouvant aller jusqu'à 200 mètres.

En règle générale, les AUV sont alimentés par des batteries. Beaucoup d'entre eux utilisent des batteries lithium-ion (Li-ion), mais celles-ci font face à certaines limitations, dont notamment :

- elles se détériorent avec le temps, même si elles ne sont pas utilisées ;
- leur transport est restreint, car elles sont souvent soumises à des contrôles d'importation/exportation rigoureux ; et
- elles nécessitent un circuit de protection pour que leur tension et leur intensité restent dans des limites opérationnelles sûres.

Les 10 dernières années ont vu le développement de la nouvelle génération de batteries au lithium à l'aide de la technologie du lithium-soufre (Li-S). Les batteries Li-S offrent en théorie cinq fois plus de densité énergétique que les batteries Li-ion. De plus, elles ne nécessitent aucun entretien, sont plus sûres et plus légères, et ont une flottabilité neutre, contrairement aux batteries Li-ion qui nécessitent un dispositif de flottaison en mousse syntactique pour être déployées dans les AUV. Cependant, les médias ont récemment fait état d'explosions accidentelles de batteries au lithium, suscitant certaines craintes en matière de sécurité pour le transport de ces sources d'énergie par voie aérienne, ce qui représente un défi de taille pour les opérations de lutte internationales.

Pour les AUV, la grande puissance des batteries Li-S offre les avantages suivants par rapport aux batteries Li-ion, qu'elles soient utilisées individuellement ou en combinaison :

- vitesses supérieures ;
- autonomie accrue ; et
- plus grande charge utile.

Bien que les batteries Li-S ne soient pas encore produites à une échelle commerciale, cette technologie devrait devenir largement disponible dans les années à venir.

Capteurs

Les travaux de l'API et du SINTEF ont donné lieu au développement d'un système de suivi en temps réel des tailles de gouttelettes, notamment près des têtes de puits. Ce système est une caméra silhouette à rétroéclairage, connue sous le nom de SilCam, qui est capable de mesurer les gouttelettes d'hydrocarbure et les bulles de gaz de façon simultanée, ce qui n'était auparavant pas possible. L'aptitude à mesurer les gouttelettes et les bulles est vitale pour optimiser le dosage du dispersant en milieu sous-marin. Un document SINTEF (2014) fournit des précisions en la matière. Des instruments semblables sont disponibles chez Sequoia Scientific, Inc., avec notamment sa gamme LISST de systèmes multi-paramètre pour les observations de la distribution des tailles de particules et des concentrations volumiques sur le terrain.

L'Interagency Coordinating Committee on Oil Pollution Research (ICCOPR) recommande l'utilisation de systèmes acoustiques et de la technologie LiDAR, de façon individuelle et combinée, pour étudier les hydrocarbures submergés (ICCOPR, 2015). Cette organisation recommande également le développement de nouveaux capteurs chimiques ou l'amélioration des capteurs existants pour la détection des hydrocarbures submergés.

L'expérience de l'utilisation des AUV pour le suivi lors de la lutte contre l'accident de Macondo indique que le recours à des méthodes novatrices combinant l'échantillonnage et le suivi chimique avancé sur le terrain, l'échantillonnage par des systèmes robotiques, et le positionnement acoustique à l'aide de systèmes de contrôle d'AUV permet de caractériser et localiser efficacement les hydrocarbures dans la colonne d'eau. L'International Research Institute of Stavanger (IRIS, 2013) a publié un résumé utile de ces technologies. Les charges utiles de capteur sous-marin recommandées par IRIS pour l'échantillonnage chimique sur le terrain sont notamment les suivantes :

- fluoromètres, y compris capteurs de fluorescence hyperspectraux et à résolution temporelle ;
- spectromètres de masse ;
- spectrométrie Raman de surface ;
- immunocapteurs ;
- renifleurs ;
- langue électronique multi-paramètre ; et
- technologie de « laboratoire sur puce ».

Modélisation

Des développements significatifs ont lieu dans le domaine de la modélisation numérique, tant pour les panaches d'hydrodynamique que pour les modèles hydrodynamiques et atmosphériques qui les affectent. Les travaux effectués par l'API visent avant tout l'amélioration de la caractérisation des panaches dans les modèles de déversements d'hydrocarbures. Un résumé des efforts de l'API dans ce domaine et d'autres activités de recherche pour les déversements est disponible dans le document Socolofsky *et al.*, 2015.

Dans le domaine de la surveillance océanique et de l'assimilation des données, les recherches actuelles et futures sont examinées dans un numéro spécial du *Journal of Operational Oceanography*, édité par Bell *et al.* (IMarEST, 2015).

Il est évident que la surveillance de surface et sous-marine, de façon individuelle et avec d'autres technologies de surveillance et d'autres méthodes de modélisation et de visualisation, jouera un rôle de plus en plus important au sein des activités de lutte contre les déversements en mer. La technologie évolue de plus en plus rapidement dans un grand nombre de domaines revêtant une grande importance aux yeux des intervenants, p. ex. les véhicules, les capteurs, les batteries, les modèles, les logiciels de visualisation, etc. Il est donc impératif que ces technologies soient régulièrement passées en revue pour que les opérations de lutte fassent appel à des combinaisons technologiques adaptées et à jour. Pour faciliter ce processus, le présent guide, aux pages 51 et 52, énumère les sites web des principaux fabricants de capteurs et de plateformes.

Liste des acronymes

AOV	Véhicule autonome d'études océanographiques	LWV	Véhicule léger (Lightweight vehicle en anglais)
API	American Petroleum Institute	MARIC	Marine Robotics Innovation Centre, Royaume-Uni
ASV	Véhicules autonomes surface	MARPOL	Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires
AUV	Véhicules sous-marins autonomes	MASRWG	Maritime Autonomous Systems Regulatory Working Group, Royaume-Uni
CDOM	Matière organique dissoute du groupe chromophore	MWCC	Marine Well Containment Company
COLREG	Règlement international pour prévenir les abordages en mer	NDIR	Infrarouge non dispersif (Non-dispersive infrared en anglais)
COP	Situation opérationnelle commune	NEBA	Analyse des avantages environnementaux nets
COV	Composé organique volatile	OD	Oxygène dissous
CTD	Conductivité, température, profondeur	OMI	Organisation maritime internationale
GOOS	Global Ocean Observing System	ONG	Organisation non gouvernementale
GPG	Guide de bonnes pratiques)	QAPP	Plan de projet d'assurance qualité (Quality assurance project plan en anglais)
HAP	Hydrocarbures aromatiques polycycliques	RHIB	Pneumatique semi-rigide (Rigid hull inflatable boat en anglais)
HWV	Véhicule lourd (Heavyweight vehicle en anglais)	ROV	Véhicule téléguidé
ICCOPR	Interagency Coordinating Committee on Oil Pollution Research	SIA	Système d'identification automatiques de navires
IMCA	International Marine Contractors Association	SIG	Système d'information géographique
IMP	Plan de gestion des informations (Information management plan en anglais)	SilCam	Caméra silhouette
IMS	Système de gestion des situations d'urgence	SMART	Special Monitoring of Applied Response Technologies
IOGP	Association internationale des producteurs d'hydrocarbures et de gaz	SOLAS	Convention internationale pour la sauvegarde de la vie humaine en mer
IPIECA	Association internationale de l'industrie pétrolière pour la Protection de l'Environnement (IPIECA)	Sonar	Système de détection d'objets sous l'eau par l'émission d'impulsions sonores et la détection ou la mesure de leur retour une fois qu'elles ont été réfléchies. (SOUND NAVIGATION and RANGING.)
IR	Infrarouge	SSDI	Injection de dispersant en milieu sous-marin (Subsea dispersant injection en anglais)
IRIS	International Research Institute of Stavanger	STCW	Normes de formation des gens de mer, de délivrance des brevets et de veille (Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers en anglais)
JIP	Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures	UOV	Véhicule non piloté d'études océanographiques
LARS	Système de lancement et récupération (Launch and recovery system en anglais)	USV	Navire de surface sans équipage
LiDAR	Détection et localisation par la lumière	UUV	Sous-marin sans pilote
LIE	Limite inférieure d'explosivité	µm	Micromètre
LISST	Diffusion et transmission laser		

Bibliographie

- Actimar (2015a). *Recommendations on validation techniques*. Rapport MOC-0970-02 du Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures, version 3.1. Février 2015. 52 pp. <http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-WP3-and-WP4-RECOMMENDATIONS-ON-VALIDATION.pdf>
- Actimar (2015b). *Review of models and metocean databases*. Rapport MOC-0970-01 du Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures, version 1.2. Février 2015. 75 pp. <http://www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-WP3-and-WP4-REVIEW-OF-MODELS-AND-METOCEAN-DATABASES.pdf>
- API (2013a). *Industry recommended subsea dispersant monitoring plan, Version 1*. Rapport technique 1152 de l'American Petroleum Institute (API). Septembre 2013. 20 pp.
- API (2013b). *Remote sensing in support of oil spill response – planning guidance*. Rapport technique 1144 de l'American Petroleum Institute (API). Septembre 2013. 79 pp.
- Arthur, M., G. Coelho and P. Twomey. (2013). *Monitoring hydrocarbon releases in deep water environments: A review of new and emerging technologies*. HDR Ecosystem Management & Associates, Inc. Lusby, MD. Rapport technique 13-01 de l'API, 55 pp.
- Battelle (2014). *Capabilities and Uses of Sensor-Equipped Ocean Vehicles for Subsea and Surface Detection and Tracking of Oil Spills ; Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP), Surveillance, Modelling and Visualization Work Package 1: In Water Surveillance*. 233 pp. www.oilspillresponseproject.org/wp-content/uploads/2016/02/RR-Battelle.pdf
- ICCOPR (2015). *Oil Pollution Research and Technology Plan, Fiscal Years 2015–2021*. Interagency Coordinating Committee on Oil Pollution Research (ICCOPR). September 2015. 294 pp.
- Davis, R. E., Eriksen, C. C. and Jones, C. P. (2002). Autonomous Buoyancy-driven Underwater Gliders. Dans *The Technology and Applications of Autonomous Underwater Vehicles*. G. Griffiths (ed), Taylor et Francis, Londres.
- IMCA (2016). *Guidance for The Safe and Efficient Operation of Remotely Operated Vehicles*. International Marine Contractors Association. Rapport no. IMCA R 004 rév. 4. Mai 2016. <http://www.imca-int.com/remote-systems-and-rov-division/code-of-practice-for-the-safe-and-efficient-operation-of-remotely-operated-vehicles.aspx>
- IPIECA-IMO-IOGP (2015). *Observation aérienne des déversements d'hydrocarbures en mer*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport 518 de l'IOGP. 56 pp. <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2013). *Oil spill risk assessment and response planning for offshore installations*. Rapport sur les opérations de lutte du Groupe mondial de lutte de l'industrie auprès de l'IOGP (GIRG) à l'occasion du déversement de Macondo dans le golfe du Mexique en avril 2010. Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2015a). *Préparation et lutte par niveau*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport 526 de l'IOGP. <http://oilspillresponseproject.org>
- IPIECA-IOGP (2015b). *Dispersants : application sous-marine*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport 533 de l'IOGP. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015c). *Développement de la stratégie de lutte utilisant l'analyse des avantages environnementaux nets (NEBA)*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport 527 de l'IOGP. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2015d). *Work Package 5: Common Operating Picture. Recommended practice for Common Operating Picture architecture for oil spill response, release 2.1*. Final Report. Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2016a). *Système de gestion des situations d'urgence de l'industrie du pétrole et du gaz*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport 517 de l'IOGP. 56 pp. <http://oilspillresponseproject.org>

IPIECA-IOGP (2016b). *Satellite remote sensing*. Série de guides de bonnes pratiques de l'IPIECA-IOGP, Projet de coopération industrielle de l'IOGP-IPIECA dans le cadre de la lutte contre la pollution par les hydrocarbures (OSR-JIP). Rapport 549 de l'IOGP. <http://oilspillresponseproject.org>

IRIS (juillet 2013). *NDP State of the art study – Deep water remote sensing and monitoring*. International Research Institute of Stavanger (IRIS), Rapport 2013/103. 66pp.

IMarEST (2015). *GODAE OceanView Part 2*. Special issue of the Journal of Operational Oceanography, Official Journal of the Institute of Marine Engineering, Science & Technology (IMarEST), Volume 8, Supplément 2, 2015. Pages s189-s271. Éditeurs en collaboration spéciale : M. Bell, K. Haines, A. Schiller, N. Smith et Z. Willis.

Lee, K. (président), Boufadel, M., Chen, B., Foght, J., Hodson, P., Swanson, S. et Venosa, A. (2015). *Rapport de groupe d'experts sur le comportement et les impacts environnementaux d'un déversement de pétrole brut dans des milieux aqueux*. Société royale du Canada, Ottawa, Ontario, Canada.

NOAA (2006). *Special monitoring of applied response technologies (SMART)*. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), Office of Response and Restoration. Seattle, Washington, États-Unis. <http://response.restoration.noaa.gov/smart>

NRT (2013). *Environmental monitoring for atypical dispersant operations*. U.S. National Response Team, mai 2013. 25 pp.

Oceaneering (2015). *Capabilities and Uses of Sensor and Video-Equipped Waterborne Surveillance-ROVs for Subsea Detection and Tracking of Oil Spills. IOGP-IPIECA Oil Spill Response Joint Industry Project Surveillance, Modelling and Visualization. Work Package 1: In Water Surveillance*. 89 pp. <http://oilspillresponseproject.org>

Ocean News and Technology (2015). A Worldwide Survey of Recent Ocean Observatory Activities: 2015 Update. Dans *Ocean News and Technology*, septembre 2015, pp. 18-29. <http://digital.oceannews.com/publication/?i=270944>

Socolofsky, S. *et al.* (2015). Intercomparison of oil spill prediction models for accidental blowout scenarios with and without subsea chemical dispersant injection. Dans *Marine Pollution Bulletin*, vol. 96, numéro 1–2, pp. 110-126. www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X15002969

SINTEF (2014). Combining technology to extend the limits of particle measurements in subsea blowouts. Dans *Particles in Europe (PiE) : Program and Abstracts*. Compte-rendu de la conférence PiE organisée à Esbjerg, Danemark, du 7 au 9 octobre 2014. www.sequoiasci.com/wp-content/uploads/2014/07/Program-Particles-in-Europe-WITH-abstracts.pdf

USCG (2011). *BP Deepwater Horizon Oil Spill: Incident Specific Preparedness Review (ISPR)*. United States Coast Guard. Final Report, janvier 2011.

Sites web et ressources utiles

- Programme de lutte contre les déversements d'hydrocarbures : <http://oilspillresponseproject.org>
- Site web d'Arctic Response Technology pour la préparation aux déversements d'hydrocarbures : www.arcticresponsetechnology.org
- Site web de l'American Petroleum Institute (API) pour la prévention et la lutte contre les déversements d'hydrocarbures : www.oilspillprevention.org
- Informations de référence sur les capteurs et les AOV :
 - Aanderaa Data instruments (AADI) : www.aadi.no
 - ALSEAMAR : www.alseamar-alcen.com
 - AML Oceanographic : <http://amloceanographic.com>
 - ASV : www.asvglobal.com
 - Atlas Elektronik : www.atlas-elektronik.com/en/
 - Atlas Maridan : www.maridan.atlas-elektronik.com/
 - AutoNaut : <http://www.autonautusv.com>
 - Autonomous Underwater Vehicle Applications Center : <http://auvac.org>
 - Bluefin Robotics : www.bluefinrobotics.com/
 - Canon U.S.A. Inc. : <http://canon.com>
 - C&C Technologies : www.cctechnol.com
 - Chelsea Technologies Group : www.chelsea.co.uk
 - Deep Ocean Engineering : www.deepocean.com
 - ECA Group : www.ecagroup.com
 - Exocetus : <http://exocetus.com>
 - Falmouth Scientific, Inc. : www.falmouth.com
 - FLIR Systems, Inc : www.flir.com
 - Fluidion : <http://fluidion.com>
 - GoPro, Inc. : <http://gopro.com>
 - Hamamatsu Photonics K.K. : <http://hamamatsu.com>
 - INFRATEC GmbH : <http://infratec.com>
 - International Submarine Engineering : www.ise.bc.ca
 - JAI : <http://jai.com>
 - JENOPTIK AG : <http://jenoptik.com>
 - Kongsberg Maritime : <http://www.km.kongsberg.com>
 - Laser Diagnostic Instruments : www.lidi.ee
 - Liquid Robotics: <http://liquidr.com>
 - Lockheed Martin : <http://lockheedmartin.com/us/products/marlin.html>
 - Lumasys (produits de communication BlueComm) : www.lumasys.com

Miros : <http://miros.no>
Mitsui Engineering & Shipbuilding Co. Ltd : www.mes.co.jp/english
Nikon Corporation : <http://nikon.com>
Nortek USA : www.nortekusa.com
OceanServer (gamme de véhicules Iver) : <http://iver-auv.com>
OPTIMARE Systems GmbH : <http://optimare.de>
Oxis Energy (technologie de batterie) : <http://oxisenergy.com>
Rutter : <http://rutter.ca>
Saab : www.seaeye.com
Sea & Sun Technology : www.sea-sun-tech.com
Sea Robotics : <http://searobotics.com>
Sea-Bird Electronics : www.seabird.com
Seapoint Sensors, Inc. : www.seapoint.com
Sequoia Scientific : <http://sequoiasci.com>
SIEL Advanced Sea Systems : www.sielnet.com
Sony Corporation : <http://sony.com>
Teledyne Gavia : www.teledynegavia.com
Teledyne RD Instruments : www.rdinstruments.com
Teledyne Webb Research : www.webbresearch.com
Trios Optical Sensors : www.trios.de
Turner Designs : www.turnerdesigns.com
WetLabs : www.wetlabs.com

Remerciements

Le texte initial du présent guide a été rédigé par Colin Grant, CG Metocean Consulting, pour le compte de l'OSR-JIP.

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 son impact sur l'environnement et la société ; 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 essentiels environnementaux et sociaux.

www.ipieca.org



L'IOGP représente l'industrie des hydrocarbures en amont des organisations internationales, y compris l'Organisation maritime internationale, le Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE), 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

