



L'observation aérienne des pollutions en mer

GUIDE OPÉRATIONNEL

Cedre

Cedre

L'observation aérienne des pollutions en mer

GUIDE OPÉRATIONNEL

Information
Décision
Intervention

Ce guide est une mise à jour du guide publié sur ce thème par le Cedre en 2009.

Il a été réalisé avec le soutien financier de la Marine nationale et TotalEnergies.

Rédactrice : Anne Le Roux

Tous droits réservés. La maquette, les photos, les schémas et tableaux sont protégés par le droit d'auteur et restent la propriété du Cedre (sauf indication contraire) et ne peuvent être reproduits sous quelque forme ou par quelque moyen que ce soit sans l'autorisation écrite préalable du Cedre. Les textes de ce guide sont la propriété du Cedre et ne peuvent être reproduits ou utilisés sans citer la source et sans autorisation préalable.

Les informations contenues dans ce guide sont issues d'un travail de synthèse et de l'expérience du Cedre. Celui-ci ne pourra être tenu responsable des conséquences de leur utilisation.

Le nom du Cedre devra apparaître sur les actes d'exploitation de ce document.

Le référencer comme ceci :

LE ROUX A. L'observation aérienne des pollutions en mer.

Brest : Cedre, 2023, 78 p. (Guide opérationnel).

Édition : avril 2023

Photo de couverture :
© Cedre

Dépôt légal à parution
Achevé d'imprimer sur les
presses de Cloître Imprimeurs,
29800 Saint Thonan



Cedre

Objet et structure du guide

La diffusion sous forme de guides opérationnels de résultats d'études, de travaux expérimentaux et de retours d'expérience d'accidents constitue une composante importante des activités du Cedre, soulignée par son Comité Stratégique.

La première version de ce guide opérationnel dédié aux observations aériennes des pollutions en mer a été publiée en 1993, avant d'être mise à jour en 2004, puis en 2009.

Il a paru nécessaire à nos spécialistes comme à nos partenaires opérationnels (Marine nationale, Douane française, TotalEnergie) de l'actualiser à nouveau, tant dans sa forme, en l'organisant de façon plus opérationnelle, que dans son fond, en prenant en compte le retour d'expérience des accidents les plus récents, mais également l'utilisation de nouveaux vecteurs (comme les drones) et de nouveaux capteurs ainsi que la détection de nouveaux produits, tels que les gaz ou les fiouls à très basse teneur en soufre.

L'Aéronautique navale et la Douane française (Brigade de Surveillance Aéro-Maritime) partagent leurs connaissances lors de formations organisées au Cedre. Beaucoup de ce qui est présenté dans ce guide provient de leurs observateurs chevronnés. Ils reconnaîtront ici leurs contributions dont nous les remercions. Nous remercions également les collègues de divers États-membres de l'Union Européenne et plus particulièrement ceux du groupe OTSOPA (*Bonn Agreement Working Group on Operational, Technical and Scientific Questions Concerning Counter-Pollution Activities*) de leurs apports en terme de textes et d'illustrations.

Ce guide opérationnel a naturellement pour vocation première d'être présent à bord de tous les aéronefs susceptibles d'être impliqués dans les missions d'observation aérienne de pollutions pétrolières et chimiques en mer. Il pourra aussi trouver sa place dans les centres de crise et de gestion d'intervention (CROSS et COM) ainsi que dans les cellules de communication.

Les sigles et abréviations marqués par • dans le texte sont explicités dans le glossaire p. 73.

Sommaire

	Objet et structure du guide	3
A	ASPECTS GÉNÉRAUX	7
	A.1 - Objectifs de la détection et de la reconnaissance des pollutions	8
	A.2 - L'observation aérienne et les autres techniques	9
	A.3 - Le pétrole et les produits pétroliers	10
	A.4 - Caractéristiques physiques essentielles	12
	A.5 - Vieillessement des hydrocarbures	13
	A.6 - Comportement des autres produits	15
	A.7 - Aspect des nappes en mer	16
	A.8 - Topographie des nappes	20
	A.9 - Aspect des nappes à la côte	21
	A.10 - La dérive des produits flottants	22
	A.11 - Modélisation de la dérive	23
	A.12 - Moyens d'observation : aéronefs	24
	A.13 - Autres moyens d'observation	25
	A.14 - Télédétection	26
	A.15 - Objectifs et résultats des missions aériennes	27
	A.16 - Traitement des informations	28
	A.17 - Détection/mesure des gaz	31
	A.18 - La convention MARPOL 73/78	33
B	FICHES TECHNIQUES	35
	B.1 - Préparation d'une mission d'observation aérienne	36
	B.2 - Sécurité des vols	37
	B.3 - Recherche de la pollution	38
	B.4 - Profil de vol	39
	B.5 - Utilisation de bouées	40
	B.6 - Aspect des nappes	41
	B.7 - Code d'apparence de l'Accord de Bonn	44
	B.8 - Observation à partir d'un navire	46
	B.9 - Documents photographiques et vidéos	47
	B.10 - Photographie aérienne	48
	B.11 - Télédétection	49
	B.12 - Utilisation des drones	52
	B.13 - Détection par satellite	53

Sommaire

B.14 - Guidage des moyens de lutte et évaluation de l'efficacité des opérations	55
B.15 - Cartographie	57
B.16 - Calcul de volumes	60
B.17 - Exemples d'autres produits	63
B.18 - Fausses pollutions	65
C MODÈLES DE DOCUMENTS	68
C.1 - Modèle normalisé de rapport de pollution (POLREP)	69
C.2 - Compte-rendu inclus dans le plan d'urgence	70
C.3 - Compte-rendu Accord de Bonn	71
D COMPLÉMENT D'INFORMATION	72
D.1 - Glossaire et sigles	73
D.2 - Bibliographie et adresses Internet utiles	76

A

B

C

D

Cedre

Aspects généraux

A

- Objectifs de la détection et de la reconnaissance des pollutions A1
- L'observation aérienne et les autres techniques A2
- Le pétrole et les produits pétroliers A3
- Caractéristiques physiques essentielles A4
- Vieillessement des hydrocarbures A5
- Comportement des autres produits A6
- Aspect des nappes en mer A7
- Topographie des nappes A8
- Aspect des nappes à la côte A9
- La dérive des produits flottants A10
- Modélisation de la dérive A11
- Moyens d'observation : aéronefs A12
- Autres moyens d'observation A13
- Télédétection A14
- Objectifs et résultats des missions aériennes A15
- Traitement des informations A16
- Détection/mesure des gaz A17
- La convention MARPOL 73/78 A18

Objectifs de la détection et de la reconnaissance des pollutions

Les missions de détection et de reconnaissance des pollutions ont deux objectifs distincts :

En routine, pour la recherche et la répression de la pollution opérationnelle par les navires.

L'observation a pour buts de :

- repérer la pollution ;
- la localiser et la décrire précisément ;
- identifier le pollueur.

afin de :

- permettre l'évaluation (quantité et qualité) de la pollution ;
- anticiper l'évolution de la situation ;
- permettre des poursuites via l'établissement d'un procès verbal.

En cas d'accident, pour soutenir les opérations de lutte en mer.

Les missions d'observation ont pour buts de :

- localiser l'ensemble des nappes ;
- les décrire précisément ;
- cartographier la pollution.

afin de :

- permettre le suivi de la pollution ;
- recalculer les modèles de dérive ;
- guider les opérations de lutte antipollution du jour ;
- préparer les opérations de lutte des jours suivants.

En cas d'accident, l'observation aérienne est le seul moyen d'avoir une idée claire de la réalité. Elle constitue le premier maillon d'une chaîne de décisions essentielles.

L'observation aérienne et les autres techniques

L'observation menée à partir d'un aéronef avec équipage permet de répondre à ces objectifs. Certains avions sont de plus équipés de moyen de télédétection* qui permettent une détection des nappes au-delà de la zone directement visualisée par l'équipage et/ou de détecter la pollution la nuit ou en conditions météorologiques dégradées.

Il est cependant utile de la compléter par :

- des images satellites (essentiellement radar), qui permettent de couvrir une zone géographique plus vaste (► B13) ; idéalement, les vols pourront être coordonnés avec les passages de satellites afin d'augmenter les chances de lier une pollution volontaire à un navire.
- l'utilisation de bouées dérivantes, configurées pour avoir une trajectoire similaire à celle du polluant, et traçables par satellite (► B5) ;
- le déploiement de drones*, utiles notamment pour le guidage des moyens de lutte (► B12).



Observation aérienne

Le pétrole et les produits pétroliers

Les hydrocarbures sont des mélanges complexes de milliers de composés chimiques ; leur aspect, leurs caractéristiques physiques ainsi que leur comportement dépendent de leur composition.

Les déversements de produits pétroliers en mer impliquent principalement trois types de produits qui ont des comportements très différents :

- les **produits raffinés légers** sont des produits peu colorés, voire incolores, et très fluides, composés des fractions les plus légères des pétroles (ex. : essence, white spirit, kérosène, gazole, fioul domestique...);
- les **produits raffinés lourds** sont des produits de couleur noire, souvent très visqueux, ne comportant que peu ou pas de fractions légères (ex. : fioul lourd - HFO* ou intermédiaire - IFO*, fioul de propulsion des navires, bitume, rejets de cale...);
- les **pétroles bruts** sont pour la plupart des produits de couleur brune à noire dont les caractéristiques varient énormément selon leur composition, en particulier la part relative de leurs fractions légères et lourdes qui les rapprochent soit des raffinés légers soit des raffinés lourds. Toutefois, après quelque temps passé en mer, les pétroles bruts ayant perdu leurs fractions légères par vieillissement (► A5) rejoignent par leurs caractéristiques et leur comportement les produits raffinés lourds, en particulier concernant leur persistance.

Les émulsions formées par ces produits varient d'une couleur brun sombre à orange.

Les hydrocarbures à faible teneur en soufre

Les fiouls à faible teneur en soufre (LSFO*, VLSFO* et ULSFO*) ont été développés suite à la mise en place de réglementations visant à limiter l'émission de fumées contenant des composés soufrés dans différents espaces maritimes. Les études menées (notamment par le Cedre) sur ces produits ont montré qu'ils présentent une grande variabilité, tant dans leurs caractéristiques physico-chimiques que dans leur comportement une fois déversés en mer. Ils sont, a priori, tous flottants lorsqu'ils sont frais, ont tendance à former des émulsions stables et présentent un point d'éclair supérieur à 60 °C. Certains sont potentiellement dispersibles en particulier ceux dont le point d'écoulement* n'est pas trop élevé (ce paramètre est très variable d'un produit à l'autre et peut atteindre des valeurs importantes, de l'ordre de 25 °C à 30 °C).

Comportement

Hydrocarbures très volatils (kérosène, essences, distillats, condensats)

- faible viscosité
- évaporation complète en 1 ou 2 jours, voire moins
- étalement très rapide
- tendance à la dispersion naturelle

Hydrocarbures légers (gazole, fioul domestique, diesel marine, biodiesels, bruts légers, condensats)

- viscosité faible à moyenne
- évaporation relativement rapide, pouvant concerner les 2/3 du volume initial au bout de quelques jours
- étalement rapide
- solubilité modérée

Hydrocarbures moyens (la plupart des bruts, huiles légères de lubrification, résidus raffinés)

- viscosité moyenne à forte
- évaporation modérée (1/3 en 24h)
- étalement modéré
- solubilité faible
- forte tendance à former des émulsions stables (« mousse au chocolat »)
- tendance à couler après vieillissement ou adhérence sur fines particules

Hydrocarbures lourds (bruts lourds, fiouls lourds, résidus lourds, émulsions vieilles, bitumes)

- viscosité forte à très forte
- évaporation très faible à nulle
- étalement faible à très faible
- solubilité très faible
- émulsification potentielle
- altération très lente
- refluidification possible au soleil

VLSFO/ULSFO (Very/Ultra Low Sulfur Oil – Fiouls de soute à très basse teneur en soufre)

- viscosité moyenne à très forte
- évaporation faible à nulle
- étalement modéré à très faible
- solubilité faible à très faible
- émulsification potentielle
- altération très lente
- refluidification possible au soleil

Tableau 1 : classification des hydrocarbures en fonction de leur comportement

Caractéristiques physiques essentielles

A4

Un produit pétrolier répandu en mer peut être caractérisé par un certain nombre de paramètres physiques qui renseignent sur son comportement. Ces paramètres physiques sont principalement :

La densité*

Les hydrocarbures ont presque toujours une densité* inférieure à 1, ce qui leur permet de flotter sur l'eau. Cependant, une fois déversés en mer, les phénomènes de vieillissement (évaporation* et surtout émulsification*) entraînent une augmentation progressive de leur densité* jusqu'à des valeurs proches de celles de l'eau de mer, ce qui rend leur flottabilité plus incertaine surtout en zones littorales et estuariennes.

La viscosité*

Les hydrocarbures ont des viscosités* initiales très variables. Cette viscosité* dépend de la composition et de la température. Lors d'un déversement en mer, du fait des phénomènes de vieillissement (évaporation* et surtout émulsification*, ► A4), la viscosité* augmente progressivement, éventuellement jusqu'à des valeurs très élevées (ex. : 10^5 cSt*) ce qui modifie le comportement du polluant à la surface de la mer.

Le point d'écoulement*

Le point d'écoulement* d'un hydrocarbure est défini comme la température à partir de laquelle le produit ne s'écoule plus dans les conditions de test en laboratoire. Cela ne signifie pas qu'en dessous de cette température l'hydrocarbure se comporte comme un solide. Le point d'écoule-

ment* est en effet mesuré en laboratoire, dans un tube de faible diamètre. L'hydrocarbure déversé en mer, dans un milieu ouvert, restera plus ou moins fluide à des températures inférieures à son point d'écoulement*.

Deux autres caractéristiques sont importantes en particulier dans le cas des produits raffinés pour lesquels une bonne évaluation des risques d'incendie et d'explosion est nécessaire.

Ce sont le point d'éclair et la température d'auto-inflammation*.

Il convient également de considérer les paramètres suivants :

La toxicité des Composés Organiques Volatils (COV*)

À une concentration de 900 ppm (0,09 %) les COV* produisent une irritation des voies respiratoires et des yeux au bout d'environ une heure.

La zone d'explosivité

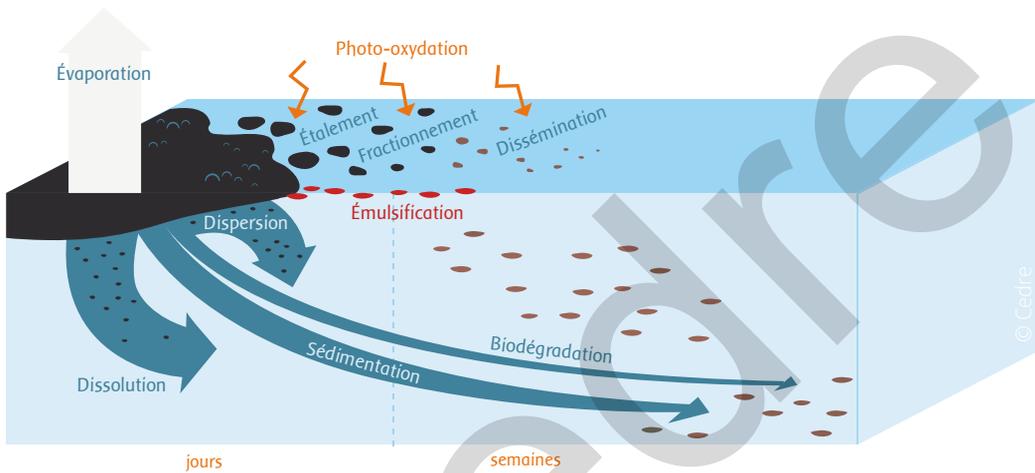
La zone d'explosivité correspond à des valeurs minimales d'hydrocarbures gazeux dans l'atmosphère comprises entre 2 et 11,5 %.

Si des valeurs de teneur en H₂S (hydrogène sulfuré) sont disponibles pour ce produit, il convient de prendre spécifiquement ce risque en compte.

Enfin, il peut être utile d'obtenir la courbe de distillation du produit, qui permettra d'évaluer le pourcentage maximum d'évaporation* en mer.

Vieillessement des hydrocarbures

Un hydrocarbure déversé en mer se modifie progressivement.
Il change d'aspect et de comportement au fil du temps.



Devenir du polluant au fil du temps

Les processus de vieillissement

Pendant les premières heures, l'hydrocarbure déversé en mer est l'objet des phénomènes suivants :

1. étalement en un film éventuellement très fin (quelques microns). Une quantité, même faible, peut alors couvrir des surfaces considérables (1 km² pour 1 000 L). Toutefois, cet étalement est irrégulier ;
2. évaporation* des fractions les plus légères.

Les pétroles bruts, les condensats et les produits raffinés commencent à s'évaporer immédiatement après leur déversement et peuvent continuer à s'évaporer

longtemps si les conditions météorologiques sont favorables.

Le taux d'évaporation* dépend en premier lieu de la volatilité des différentes fractions de l'hydrocarbure mais également d'autres facteurs, tels que la quantité déversée, les températures de l'eau et de l'air, l'agitation du plan d'eau, le vent et le taux d'étalement de la nappe.

Lors d'un déversement d'essence à 20 °C, environ 50 % s'évaporent dans les minutes qui suivent. Les essences, le kérosène et les fractions légères de fiouls (composés volatils à point d'ébullition* inférieurs à 200 °C) disparaissent presque entièrement au bout de 24 heures à 20 °C ;

Pour du fioul domestique (FOD*) à 20 °C, 30 à 50 % s'évaporent en un jour. Pour les fiouls lourds, toujours à 20 °C, on estime la perte par évaporation* à 10 % maximum de leur poids ;

3. dispersion naturelle*, dont le pourcentage est essentiellement lié à la nature du produit et à l'état de la mer. Les vagues et les remous à la surface de la mer agissent sur la nappe en formant des gouttelettes de différentes tailles. Les plus petites restent en suspension dans la colonne d'eau, les autres se collent à d'autres gouttelettes ou s'étalent en fine couche. La recalescence* des gouttes mises en suspension se produit d'autant plus que la mer est calme. L'observation aérienne est en revanche plus aisée ;

4. Émulsification* essentiellement dans le cas d'un pétrole brut ou d'un raffiné noir au bout de quelques jours, voire seulement de quelques heures si la mer est agitée. Cette émulsion est de couleur brun sombre à orange.

Ce phénomène a comme conséquences d'augmenter le volume visible de polluant, de diminuer l'étalement (formation de plaques épaisses) et d'augmenter à terme la densité* apparente du polluant, pratiquement jusqu'à celle de l'eau de mer. Dans ce dernier cas, le polluant peut alors rester entre deux eaux ou éventuellement couler, surtout en zones côtières et estuariennes, du fait de la présence de matières en suspension et de la diminution de la salinité.

Attention

Les produits dont la pression de vapeur* est élevée, comme l'essence, sont dangereux en cas d'inhalation et peuvent exploser ou s'enflammer [de faibles concentrations dans l'air suffisent (► B2)].

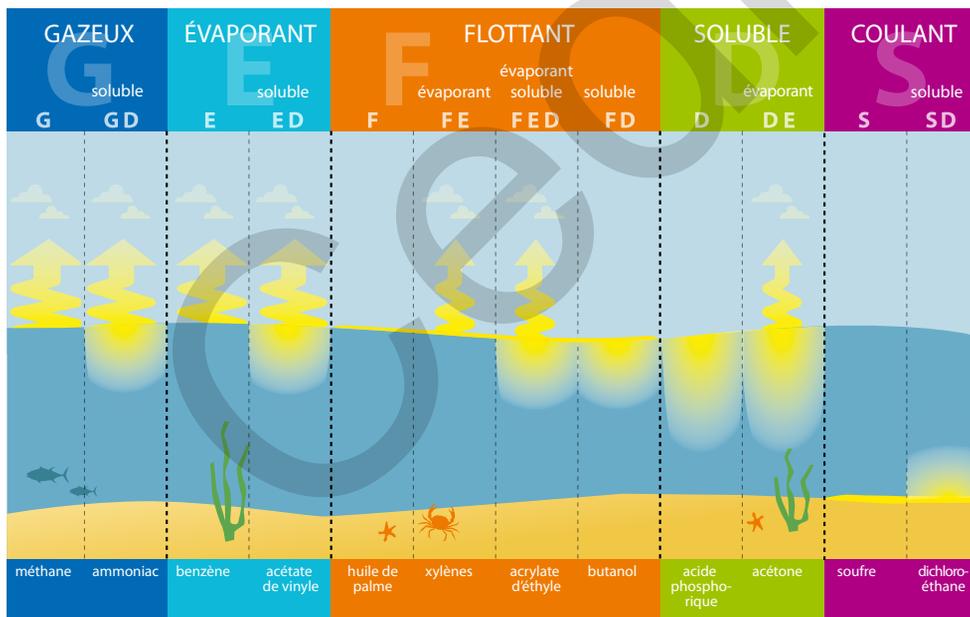
Comportement des autres produits

Les produits chimiques

Chaque produit chimique a un comportement particulier. Pour chaque substance, une évaluation simple mais rapide de son comportement est possible à partir de certaines de ses propriétés physico-chimiques : état de la matière, solubilité, densité*, etc.

Le comportement global d'une substance est alors déterminé et répertorié sous la classification dite SEBC* (*Standard European Behaviour Classification*).

Les différents types de comportements sont présentés ci-dessous mais il convient de préciser que les conditions environnementales (notamment les conditions météo) pourront influencer ce comportement.



Les différents types de comportement des substances déversées

Les produits flottants et, dans une certaine mesure évaporants, sont détectables par l'observation aérienne. Concernant les produits évaporants, comme pour les hydrocarbures volatils, des mesures de sécurité spécifiques sont nécessaires (► B2).

Cas particulier des produits qui se solidifient

Certaines substances (notamment des huiles végétales et les paraffines) passent de l'état liquide à l'état solide lorsqu'elles entrent en contact avec l'eau de mer dont la température est inférieure à leur température de transport. Elles forment des boulettes, ou agrégats, qui restent flottants à la surface de l'eau.

Aspect des nappes en mer

Cas des pétroles bruts et des produits raffinés lourds

L'étalement est irrégulier. Très rapidement, se forment des nappes de couleur noire à brun-noir (tirant éventuellement sur le vert). Elles sont entourées d'un film sombre, continu et plus mince, plus ou moins abondant en fonction de la nature du produit et des conditions météo-atmosphériques.

Au fil des heures (et suite à la perte par évaporation* des fractions légères du polluant), les plaques s'épaississent, se ramassent sur elles-mêmes (épaisseurs de plusieurs millimètres à plusieurs centimètres) et virent au brun ou brun-orange si une émulsion se forme. Les films d'épaisseurs fines prennent l'apparence « reflet », « arc-en-ciel » et « métallique » (► B7). Les zones de forte épaisseur sont de plus en plus tranchées par rapport à ces films. Les épaisseurs les plus épaisses sont sous le vent de la nappe (► A7).

Au bout de quelques jours, les épaisseurs plus fines disparaissent. Elles peuvent cependant réapparaître à la périphérie des nappes par temps calme et ensoleillé.

Les nappes et plaques d'émulsion peuvent être soumises au phénomène de « marsouinage », c'est-à-dire à descendre de quelques centimètres durant la nuit et remonter en surface lorsque la température augmente au fur et à mesure de la journée. À l'approche des côtes, lorsque les nappes rencontrent des eaux moins salées

et/ou chargées en sédiment (typiquement dans le panache des fleuves), elles peuvent plonger sous la surface, voire sédimenter (tomber au fond).

En se morcelant, les plaques d'émulsion se transforment en boulettes de petite taille qui ne sont alors visibles qu'en observation très rapprochée.

Certains bruts légers ne forment pas d'émulsion. Ils forment des couches très minces qui peuvent se disloquer et s'estomper progressivement.



*Nappe de pétrole brut
(accident du Nassia, Bosphore, Turquie, 1994)*



*Déversement de fioul lourd, collision Ulysse/
CSL Virginia, France, 2018*



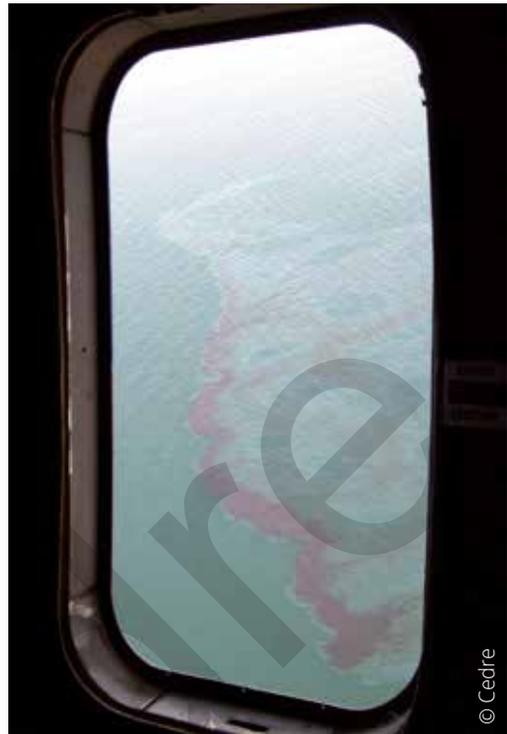
© BSAM, Douane française

Déversement récent (quelques heures) : le polluant encore frais s'étale largement tel un film parsemé de plaques plus épaisses.



© JTOFF

Avec le temps, la nappe se fragmente et les zones de fortes épaisseurs sont de plus en plus tranchées par rapport aux épaisseurs fines (reflet, arc-en-ciel ou métallique) quelques heures à 1 jour après le déversement.



© Cedre

En vieillissant, des plaques d'émulsion inverse de couleur rouge brique peuvent se former entre des épaisseurs plus fines (arc-en-ciel, reflet ou métallique) et des plaques de polluant plus épaisses (2 à 8 jours après déversement).



© Cedre



© Cedre

Par la suite, les films (reflet, arc-en-ciel ou métallique) s'estompent progressivement et, à terme, il peut ne subsister que des plaques d'émulsion (plusieurs jours après le déversement), surtout en cas de mer agitée. Des irisations peuvent cependant réapparaître par la suite, même plusieurs semaines à plusieurs mois après le déversement, si la mer est très calme et si le soleil brille.

Cas des raffinés légers

L'étalement est rapide sur de très grandes surfaces en films minces, essentiellement d'aspect métallique au début. Très rapidement, on distingue également les aspects « reflet » et « arc en ciel ».

À part si le produit est confiné (naturellement ou dans un barrage), la vraie couleur n'est pas visible.

Selon la quantité déversée et les conditions météo-océaniques, l'intégralité du produit peut disparaître de la surface de l'eau en 2 ou 3 jours, voire en quelques heures.

L'observation à la verticale permet de discerner et caractériser les différentes épaisseurs.



Déversement de fioul domestique observé depuis une colline, Saint-Pierre et Miquelon



Nappe de produit raffiné léger : étalement rapide en film fin

Cas des produits très paraffinés et des bitumes

Certains produits contenant des paraffines lourdes deviennent solides à la température de l'eau de mer. Ils peuvent former des plaques épaisses ou grumeleuses, qui se fractionnent ensuite en plaques puis en boulettes. Dans les premiers heures, présence éventuelle, sur les bords, d'épaisseurs plus fines (reflet, arc-en ciel, métallique)

Sauf cas très particulier, les bitumes déversés dans l'eau coulent, soit immédiatement soit très rapidement.



Pétrole paraffinique figé : vues de près, les plaques sont formées de grumeaux



Déversement de bitume

Cas particuliers

- pétrole traité au dispersant* : le pétrole effectivement dispersé apparaît sous l'aspect d'un nuage orange à brun clair, parfois brun foncé juste sous la surface de l'eau ;
- pétrole et glace: dans les eaux infestées de glace, si le courant est suffisamment fort, il peut entraîner la nappe d'hydrocarbure sous la couche gelée. Le produit va alors s'accumuler dans les anfractuosités naturelles de celle-ci, le rendant très difficile à détecter. Il peut également arriver, si la glace se forme alors que le pétrole se trouve à la surface du

plan d'eau, qu'on se trouve face à un mélange glace-hydrocarbure. Le produit peut alors réapparaître au fur et à mesure que la couche de surface fond. Enfin, le pétrole pris dans la glace peut remonter par des fissures et s'étaler sur la surface gelée. La présence de glace gêne également le fonctionnement des équipements de télédétection.

- produit formant peu ou pas d'émulsion, comme par exemple un hydrocarbure léger, brut ou raffiné : il ne subsiste que des couches très minces qui se disloquent et s'estompent progressivement.



Pétrole traité au dispersant*



Expérimentation en milieu arctique



Pétrole dans la glace

Topographie des nappes

Pour les nappes d'hydrocarbures relativement fraîches (datant de quelques heures à quelques jours), la forme et la répartition des épaisseurs (faibles, moyennes, fortes) dépendent essentiellement du vent.

Le vent étale et allonge les nappes jusqu'à les découper en bandes parallèles puis les morceler.

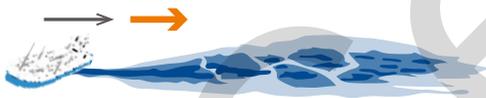
Les fortes épaisseurs se trouvent sous le vent.

Par vent très fort, les zones irisées (reflets - arc-en-ciel et métalliques) tendent à disparaître.

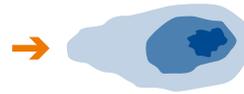
Pour les nappes anciennes (d'une semaine ou plus) les reflets et films arc-en-ciel ou métalliques s'estompent. Ne subsistent plus que des plaques de forte épaisseur très émulsionnées flottant à peine à la surface.

Les pollutions les plus anciennes se retrouvent souvent mélangées à des macrodéchets flottants

Déversement continu : vent faible, vent et courant parallèles



Déversement ponctuel : vent nul à très faible



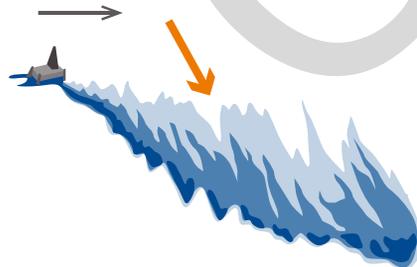
Déversement ponctuel : vent moyen



Déversement ponctuel : vent fort



Déversement continu : vent moyen, vent et courant non parallèles



■ Epaisseur forte ■ Epaisseur moyenne ■ Epaisseur faible → Vent → Courant

Aspect des nappes à la côte

1. Des nappes ou plaques flottantes s'accumulent dans les reliefs sous l'influence du vent (anse, baie, décrochement...).
2. Avec le jeu des marées, le polluant se dépose dans les sites d'accumulation (c'est-à-dire les sites où se déposent régulièrement les macrodéchets), généralement sous forme d'une bande plus ou moins continue, en partie haute de l'estran (laisse de haute mer).
3. Le polluant est souvent mélangé en proportion très variable à des macrodéchets et débris, en particulier des algues.
4. Le polluant peut repartir au large si le vent tourne ou avec la renverse du courant.

Les échouements d'hydrocarbures en quantités faibles ou fragmentées sont très difficiles à observer par aéronefs surtout en zones rocheuses.



Remobilisation du polluant déposé à la côte (Pérou, 2022)



Hydrocarbure liquide sur le littoral (Espagne, 2006)

La dérive des nappes de produits flottants

Une nappe d'hydrocarbure dérive sur l'eau à 3 - 4 % de la vitesse du vent et à 100 % de celle du courant.

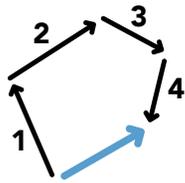
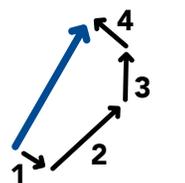
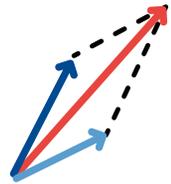
Le trajet parcouru réellement par une nappe ou « route sur le fond » peut être déterminé graphiquement par addition vectorielle, établie heure par heure, de la vitesse du courant et de 3 - 4 % de celle du vent.

La dérive d'autres produits flottants (comme les huiles végétales) présente des caractéristiques similaires. Il est cependant important de signaler que leur étalement à la surface de l'eau est généralement différent de celui des hydrocarbures. Un sillage d'hydrocarbure derrière un navire va s'étaler en s'évasant, pour aboutir progressivement à une forme en « triangle » ou en « éventail », alors qu'une huile végétale se présentera plutôt comme un « ruban ».

Des logiciels informatiques permettent de calculer le déplacement ou la dérive des nappes d'hydrocarbures.

Ils sont utiles pour préparer la mission. Leurs résultats doivent cependant être régulièrement comparés aux observations réelles.

	Courant (porte au x°)	Vent (vient de x°)	Dérive
1 ^{re} heure	1,5 nd au 340°	12 nd x 3/100 = 0,36 nd au 300°	
2 ^e heure	1,5 nd au 60°	30 nd x 3/100 = 0,9 nd au 230°	
3 ^e heure	1 nd au 110°	25 nd x 3/100 = 0,75 nd au 185°	
4 ^e heure	1 nd au 190°	20 nd x 3/100 = 0,6 nd au 130°	

Calcul de la dérive d'une nappe d'hydrocarbure sur 4 heures

Les flèches noires figurent les effets successifs sur la nappe du courant (100 %) et du vent (3 %) par tranches horaires. Les flèches bleues donnent leur résultante sur 4 heures. La flèche rouge montre la résultante globale

Modélisation de la dérive

La modélisation de la prévision de la dérive de surface des hydrocarbures peut être effectuée à l'aide de modèles mathématiques prenant en compte les conditions météo-océaniques. Les modèles sont initiés à partir d'observations (le plus souvent aériennes) des pollutions dont on aura noté l'aspect (morcellement, flottabilité), la dimension, la position et l'heure.

Il est indispensable de « recalcr » régulièrement les modèles par des observations. Le cas échéant, des bouées larguées dans les nappes permettent de se situer par rapport aux prévisions (► B5). La fiabilité des données météorologiques autorise

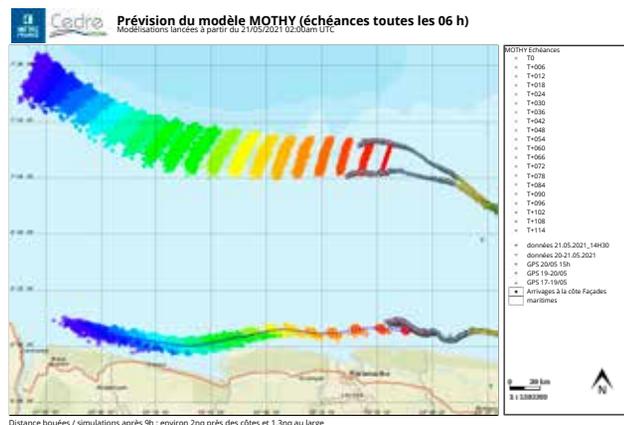
en routine une prévision à 3 ou 4 jours et une dérive à rebours de 3 jours, selon les modèles.

Lors d'une pollution majeure, touchant un espace maritime important, les sorties de modèles, telles que celles présentées ci-dessous, sont exploitées pour établir des cartes de synthèse rassemblant les observations du jour et les prévisions de dérive sur quelques jours. Les observations du jour sont accompagnées des zones de survols des différents aéronefs permettant de visualiser ce qui a été exploré et ce qui ne l'a pas été.

A11



Exemple de prévision de dérive de nappes à destination des experts (données issues de modèles et mise en forme des résultats par le Cedre)



Moyens d'observation : aéronefs

A12

Les missions d'observation aériennes peuvent être menées à partir d'avions ou d'hélicoptères. Les avions ont évidemment moins de limites en termes de portée et doivent être privilégiés si le polluant se trouve loin au large.

Pour des raisons de sécurité, il convient d'utiliser des avions (au moins) bimoteurs, dont l'équipage doit être habilité à travailler au-dessus de la mer.

L'aéronef doit être capable de voler à des vitesses et altitude suffisamment modérées pour permettre l'observation, la détection par les capteurs et les prises de photographies et vidéos. Les avions à ailes hautes permettent une meilleure visibilité.

L'hélicoptère est à privilégier pour les survols côtiers, pour ses capacités à voler à faible altitude et à se maintenir en vol stationnaire. Ceci est particulièrement important en cas de littoral présentant des zones d'accès difficiles par la côte ou la mer ou un relief particulièrement découpé. L'observation par hélicoptère

peut également aider à lever le doute quant à la nature de la pollution (► B17 et ► B18).

De nombreux États possèdent des aéronefs dont l'une des missions est de mener des vols de surveillance des pollutions. Il peut s'agir d'appareils par ailleurs utilisés pour le sauvetage en mer, la surveillance des incendies, des pêches, du narcotraffic ou la protection des frontières.

Dans les zones concernées par l'exploitation pétrolière offshore, il est souvent possible de faire appel aux hélicoptères chargés du transport du personnel vers ces installations.

Ces aéronefs devraient soit disposer d'un équipage formé à l'observation et la description des pollutions soit être en capacité d'embarquer un observateur, avec la possibilité pour cet observateur de disposer de la visibilité nécessaire.

Certains aéronefs spécialisés sont équipés de matériel de télédétection* (► B11).



Aéronef du programme national de surveillance aérienne du Canada (Dash 8)



Hélicoptère Dauphin SA365N de la Marine nationale française

Autres moyens d'observation

Plusieurs autres moyens de détection, d'observation et de suivi des pollutions existent, et peuvent compléter l'observation par aéronef, sans toutefois la remplacer.

Les drones

Des drones* peuvent être utilisés pour la détection et l'observation de pollutions par hydrocarbures, voire par autres produits dans la mesure où ils peuvent être équipés de capteurs spécifiques. Il peut s'agir de drones* à voilure fixe ou tournante, lancés depuis une plate-forme à terre ou un navire de lutte.

(► B12)

Les ballons captifs

Afin d'augmenter la visibilité à partir d'un navire, plusieurs modèles de ballons captifs ont été développés et testés. En fonction de l'altitude de déploiement, ils ont une portée de quelques kilomètres (3,5 km à 150 m d'altitude pour l'un d'eux) et peuvent être équipés de capteurs spécifiques. (► B12)



Capteur placé sous un ballon captif

Les satellites

Plusieurs capteurs installés sur des satellites permettent de détecter des pollutions, notamment par hydrocarbures ou huiles végétales, grâce à l'imagerie radar.

Les capteurs optiques présentent aussi un intérêt, mais plutôt lorsqu'il s'agit de retrouver des objets flottants.

(► B13)

Les bouées

Il existe des bouées conçues pour dériver comme des hydrocarbures à la surface de la mer. Largables depuis un navire ou un aéronef dans les nappes de produit et traçables par signal satellite, elles permettent de suivre les nappes quand les conditions météorologiques ne sont pas favorables au survol ou à l'observation ou quand la pollution est trop éparpillée.

(► B5)



Drone déployé à partir d'un navire de lutte de la Marine nationale française

Téledétection

A14

La téledétection• représente un moyen d'observation complémentaire à l'œil humain. Plusieurs capteurs sont en effet capables de détecter la présence d'hydrocarbures (voire d'autres produits) à la surface de la mer, dans certaines conditions.

Cette technique présente les avantages suivants par rapport à l'observation visuelle :

- détection à distance [SLAR• (*Side-Looking Airborne Radar*): 15 à 20 nautiques de chaque côté] ;
- cartographie des nappes ;
- enregistrement des images des capteurs ;
- visualisation en dehors du spectre visible.

Pour les missions de surveillance aéromaritime dans le cadre de la répression des rejets illicites, la téledétection• peut permettre le repérage nocturne d'hydrocarbures.

Différents moyens permettent d'obtenir l'identification du navire en cause : récepteur AIS• (*Automatic Identification System*), système électro-optique et infrarouge de dernière génération, caméra TBNL• (Très Bas Niveau de Lumière).

Les capteurs actifs émettent un signal et en reçoivent un en retour. Les capteurs passifs n'émettent pas de signal mais utilisent le signal émis par la surface de la mer.

Plus d'informations sont disponibles dans la fiche ► B11



Opérateur tactique, avion de surveillance canadien



Écran présentant les images du SLAR, avion de surveillance de la douane française

Objectifs et résultats des missions aériennes

Une mission de surveillance aérienne peut avoir plusieurs objectifs :

- confirmer qu'on a bien affaire à une pollution, établir sa nature et, s'il s'agit finalement d'une fausse pollution, définir de quel phénomène il s'agit (► B17 et ► B18);
- relever la position du polluant ;
- décrire l'aspect des nappes (► B6) et « BAOAC* »);
- décrire leur répartition géographique ;
- estimer le volume de polluant (voir fiche « calcul du volume »);
- prendre des photos et des vidéos (► B10);
- cartographier la pollution (► B15);
- guider les moyens de lutte et évaluer l'efficacité de leurs actions (► B14);
- recueillir des éléments de preuve.

A15



Poste opérateur tactique, Cessna 406 de la Douane française

Traitement des informations

Lors de la gestion d'une pollution, beaucoup d'informations sont à prendre en compte : les observations aériennes (position de la pollution, commentaires sur les observations, plans de vol initial et réalisé, photos, images obtenues par les capteurs...), les prévisions de dérive ainsi que les signaux renvoyés par les balises larguées en mer (► B5).

A16

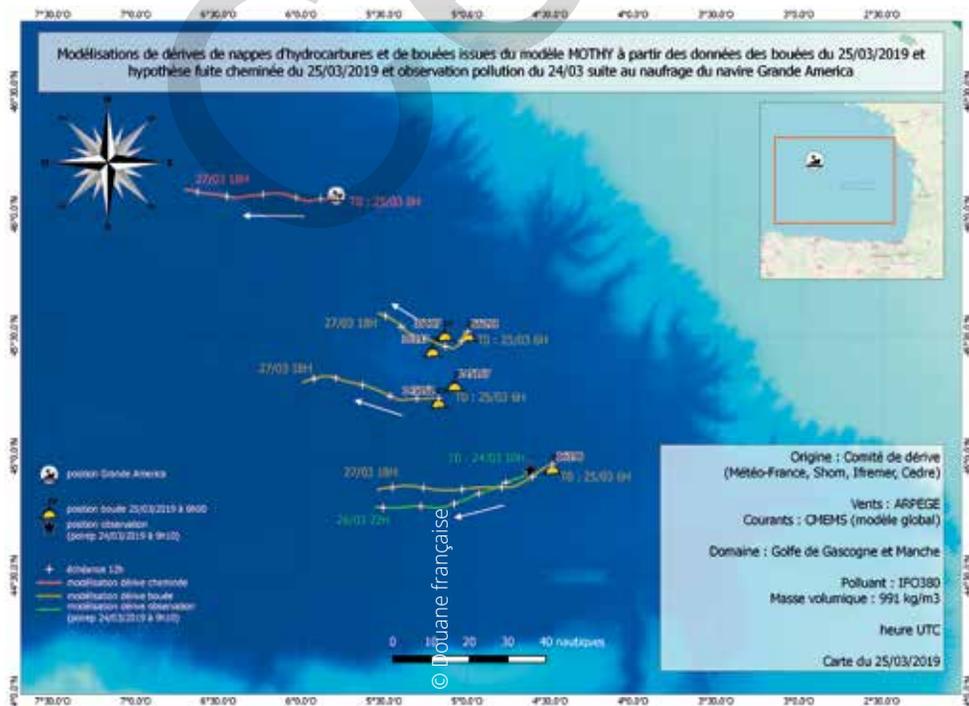
Les enseignements tirés des dernières grandes pollutions montrent l'intérêt d'établir un comité national de prévision de dérive* rassemblant les experts des organismes nationaux compétents ayant pour missions :

- d'analyser les observations (aériennes, nautiques, satellitaires) ;
- de transmettre les données sélectionnées aux prévisionnistes/modélisateurs ;
- d'établir des recommandations pour les

futurs vols d'observation ;

- de mettre au point une carte de synthèse journalière et de la diffuser ;
- de proposer des études et expérimentations susceptibles de renforcer ces prévisions.

La constitution d'un tel comité permet d'améliorer la qualité des prévisions et de faciliter la prise de décision des autorités tout en se révélant une innovation précieuse sur le plan de l'information et de la communication.



Carte du comité de dérive produite lors de l'accident du Grande America en 2019

L'exemple du naufrage du *Grande America*, France, 2019

Le 10 mars 2019, le navire (hybride entre un porte-conteneurs et un roulier) *Grande America*, en provenance de Hambourg (Allemagne) et faisant route vers Casablanca (Maroc) subit une avarie majeure. Le navire navigue dans le golfe de Gascogne, à environ 140 nautiques des côtes françaises, au sud-ouest de la pointe de Penmarc'h, lorsqu'il est victime d'un violent incendie sur des conteneurs en pontée. L'incendie n'est pas maîtrisable.

L'équipage abandonne le *Grande America* qui dérive lentement vers l'est et sombre le 12 mars par 4 600 mètres de fonds dans le golfe de Gascogne, au large de La Rochelle, malgré l'intervention de la Marine nationale et du RIAS* (Remorqueur d'Intervention, d'Assistance et de Sauvetage) *Abeille Bourbon*, appelés en renfort afin de tenter de faire cesser l'incendie et remorquer le *Grande America*.

Le 13 mars, un avion de surveillance de la Marine nationale repère une nappe importante d'hydrocarbure, environ 10 km de long sur 1 km de large, dans la zone de l'épave. À cela s'ajoute une dizaine de conteneurs tombés à l'eau. Le préfet maritime de l'Atlantique ordonne au BSAA* (Bâtiment de Soutien et d'Assistance Affrété) *l'Argonaute* de faire route vers le lieu du naufrage et de démarrer les opérations de lutte antipollution.

Au total, le dispositif de lutte engagé comprend une dizaine de navires dont :

- ceux de la Marine nationale ou affrétés par elle ;
- ceux de l'Espagne, dépêchés dans le cadre du Biscaye Plan*, accord franco-espagnol, activé le 15 mars ;

- ceux de l'Agence européenne de sécurité maritime (AESM) ;
- ceux affrétés par l'armateur.

Le 14 mars le préfet maritime de l'Atlantique déclenche l'activation du comité de dérive animé et coordonné par le Cedre avec l'Ifremer*, Météo-France et le SHOM*. Ce comité sera activé jusqu'au 2 avril. Il se réunira quotidiennement (par visioconférence) et prendra en compte les observations effectuées par les aéronefs de la Marine nationale et des douanes françaises mais aussi de SASEMAR* (Espagne), les images satellites (*CleanSeaNet*) et les trajets des bouées de suivi. Il fournira chaque jour au préfet maritime de l'Atlantique une synthèse de la localisation des observations du polluant en mer, des prévisions de dérive associées et une courte liste de recommandations.

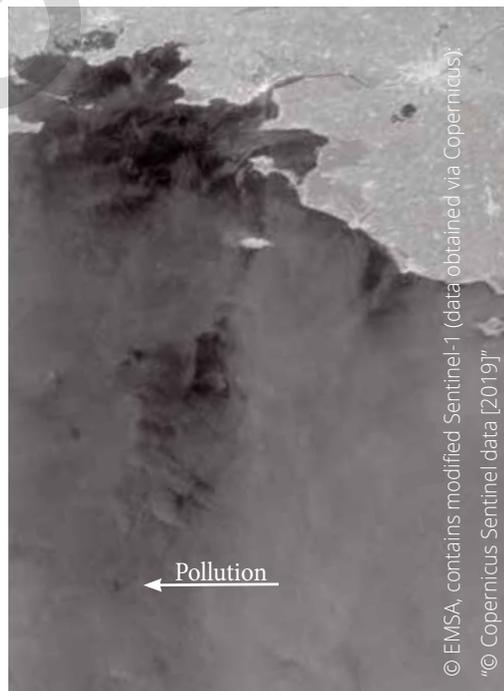
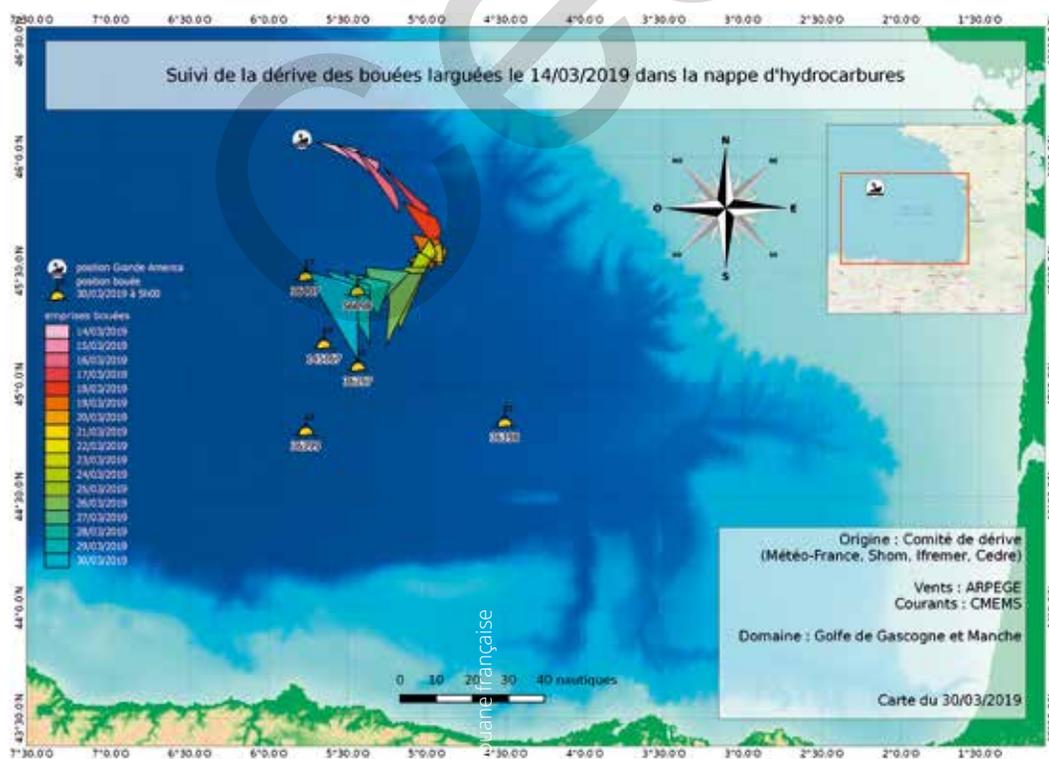


Image satellite (radar) montrant la pollution ainsi que des «faux positifs»



Zoom sur la zone polluée



Suivi à long terme des bouées

Détection/mesure des gaz

Les émissions de gaz par les navires sont une préoccupation depuis plusieurs années. Ainsi, l'annexe VI de MARPOL* 73/78, adoptée en 1997, régule notamment les émissions d'oxydes d'azote et de soufre, de Composés Organiques Volatiles et de particules.

Depuis cette date, des solutions techniques de contrôle de ces émissions ont été recherchées.

Concernant la surveillance depuis l'espace aérien, les efforts se sont essentiellement portés sur la détection des SOx* dans les fumées des navires. La teneur mesurée permet de déduire, par calcul, la teneur en soufre du fioul de propulsion du navire.

Depuis 2020, la teneur maximale en soufre admise dans les fiouls de propulsion est de 0,5 % (en masse) dans l'ensemble de l'espace maritime mondial, sauf :

- ▶ dans les zones dites SECA* (*Sulphur Emission Control Area*), à l'heure actuelle la mer Baltique, la mer du Nord et ECA (*Emission Control Area*) soit l'Amérique du Nord (côtes Est et Ouest des États-Unis et du Canada) et la zone Caraïbes des États-Unis, où cette teneur maximale est de 0,1 % (en masse) ; à partir de 2025, l'OMI a décidé de désigner la totalité de

la mer Méditerranée comme zone de contrôle des émissions.

- ▶ dans les ports de l'Union européenne, où cette teneur est également de 0,1 % pour les navires restant plus de 2 heures à quai.

Les expérimentations menées dans le cadre de projets européens et la surveillance de routine effectuée par quelques pays a permis de démontrer une chose : il n'y a pas de corrélation entre la couleur du panache et la teneur en soufre du fioul de soute.

À l'heure actuelle, la mesure des SOx* dans les émissions des navires se fait :

- ▶ à partir d'installations fixes (capteur fixé sur un pont ou autre point haut) ;
- ▶ à partir d'aéronefs habités (on peut citer l'exemple de la Belgique, qui procède à des contrôles réguliers à partir de son *Britten Norman Islander*. Des capteurs utilisables depuis un hélicoptère existent également) ;
- ▶ à partir de drones* munis de capteurs spécifiques. On peut notamment citer les drones* aériens mis à disposition des Etats-Membres par l'Agence Européenne de Sécurité Maritime.

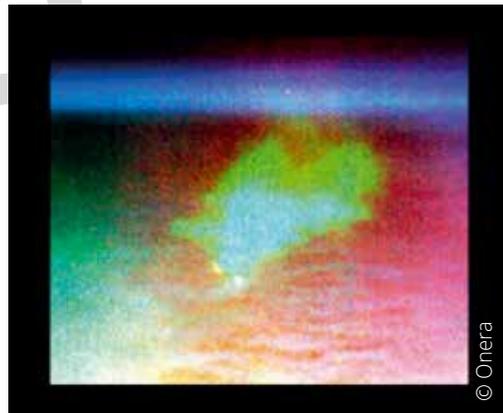
A17



Avion de mesure des émissions de gaz mis en œuvre par le Royal Belgian Institute of Natural Sciences

Que ce soit pour la surveillance des pollutions ou pour la répression des pollutions, la caractérisation de la nature d'un produit chimique déversé en mer présente un intérêt majeur, en particulier pour préciser les risques pour les intervenants et les populations. Les informations obtenues en cellule de crise ou les données fournies par les logiciels de modélisation doivent systématiquement être complétées ou vérifiées par des mesures de terrain. Des projets de recherche ont permis de développer différents capteurs basés sur la télédétection*, reposant notamment sur la détection infrarouge hyperspectrale* ou multispectrale*.

Ces développements nécessitent toutefois des améliorations ou des adaptations pour tenir compte des conditions environnementales d'un accident maritime. Des essais expérimentaux, initiés par le Cedre et soutenus par la Marine nationale, ont permis de tester ces évolutions technologiques et, pour certains produits chimiques, permis d'observer, identifier et visualiser un nuage gazeux formé suite au déversement en mer. Une fois qualifiés, certains de ces capteurs pourront être installés sur des aéronefs en vue d'une utilisation en routine



Images de produits chimiques détectés lors d'essais en mer organisés par le CEPPOL et le Cedre (caméra SIMAGAS de l'ONERA)

La convention MARPOL 73/78

A18

La Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires (MARPOL* 73/78) est la principale convention internationale traitant de la prévention de la pollution du milieu marin, que les causes soient liées à l'exploitation ou à des accidents.

La Convention comprend des règles visant à prévenir et à réduire au minimum la pollution due aux navires – tant accidentelle que découlant d'opérations de routine – et comporte actuellement six Annexes techniques. La plupart de ces annexes établissent des zones spéciales dans lesquelles les rejets d'exploitation sont strictement réglementés.

Annexe I – Règles relatives à la prévention de la pollution par les hydrocarbures (entrée en vigueur le 2 octobre 1983)

Cette annexe porte sur la prévention de la pollution par les hydrocarbures liée à l'exploitation des navires ainsi qu'aux rejets accidentels.

Annexe II – Règles relatives à la prévention de la pollution par les substances liquides nocives transportées en vrac (entrée en vigueur le 2 octobre 1983)

Cette annexe précise les critères applicables aux rejets et décrit les mesures de prévention de la pollution par des substances liquides nocives transportées en vrac; quelque 250 substances ont été évaluées et portées sur la liste annexée à la Convention; leurs résidus doivent être déchargés uniquement dans des installations de réception, jusqu'à ce que certaines concentrations et conditions (qui varient selon la catégorie des substances) soient atteintes.

Dans tous les cas, aucun rejet de résidus contenant des substances nocives n'est autorisé à moins de 12 milles marins de la terre la plus proche.

Annexe III – Règles relatives à la prévention de la pollution par les substances nuisibles transportées par mer en colis (entrée en vigueur le 1er juillet 1992)

Cette annexe contient des prescriptions générales relatives à l'établissement de



Ouvrage MARPOL 73/78 (OMI)

normes précises en matière d'emballage, de marquage, d'étiquetage, de documents, d'arrimage, de limites quantitatives, d'exceptions et de notifications.

Aux fins de cette annexe, on entend par « substances nuisibles » les substances qui sont identifiées comme polluants marins dans le Code maritime international des marchandises dangereuses (Code IMDG*), ou encore qui satisfont aux critères énoncés dans son appendice.

Annexe IV - Règles relatives à la prévention de la pollution par les eaux usées des navires (entrée en vigueur le 27 septembre 2003)

Cette annexe contient des prescriptions visant à prévenir la pollution des mers par les eaux usées ; le rejet des eaux usées dans la mer est interdit, sauf lorsque le navire utilise une installation approuvée de traitement des eaux usées ou rejette les eaux usées, après broyage et désinfection à l'aide d'un dispositif approuvé, à une distance de plus de trois milles marins de la terre la plus proche; les eaux usées non broyées et non désinfectées doivent être rejetées à une distance de plus de 12 milles marins de la terre la plus proche.

Annexe V - Règles relatives à la prévention de la pollution par les ordures des navires (entrée en vigueur le 31 décembre 1988)

Cette annexe traite des différents types d'ordures et précise à quelle distance de la terre et selon quelles modalités ces ordures peuvent être évacuées ; la disposition la plus importante de l'Annexe est l'interdiction totale de jeter à la mer des matières plastiques, sous quelque forme que ce soit.

Annexe VI - Règles relatives à la prévention de la pollution de l'atmosphère par les navires (entrée en vigueur le 19 mai 2005)

Cette annexe fixe des limites aux émissions d'oxyde de soufre et d'oxyde d'azote provenant des gaz d'échappement des navires et interdit les émissions délibérées de substances qui appauvrissent la couche d'ozone; dans certaines zones désignées de contrôle des émissions, les normes de contrôle des SO_x*, des NO_x* et des particules sont plus rigoureuses.

Fiches techniques

■ Préparation d'une mission d'observation aérienne	B1
■ Sécurité des vols	B2
■ Recherche de la pollution	B3
■ Profil de vol	B4
■ Utilisation de bouées	B5
■ Aspect des nappes	B6
■ Code d'apparence de l'Accord de Bonn	B7
■ Observation à partir d'un navire	B8
■ Documents photographiques et vidéos	B9
■ Photographie aérienne	B10
■ Télédétection	B11
■ Utilisation des drones	B12
■ Détection par satellite	B13
■ Guidage des moyens de lutte et évaluation de l'efficacité des opérations	B14
■ Cartographie	B15
■ Calcul de volumes	B16
■ Exemples d'autres produits	B17
■ Fausses pollutions	B18

B

Préparation d'une mission d'observation aérienne

Une mission doit être préparée. Il faut essayer de prévoir ce que l'on risque de rencontrer : aspect, étendue, localisation de la pollution.

Pour la personne en charge de l'observation :

- préparer des fonds de carte de la zone sur lesquels la pollution pourra être cartographiée et annotée pendant le vol ;
- Bien indiquer sur ces fonds de carte : l'orientation du lieu, le trait de côte, les coordonnées géographiques, l'échelle, la nature de la côte (plages, zones rocheuses, marais, zones urbaines, industrielles et portuaires) et ses usages.

Pour l'équipage :

- réunir un maximum d'informations sur la pollution :
 - nature du polluant : hydrocarbure, brut ou raffiné, léger ou lourd (densité*, viscosité* et point d'écoulement*...). Dans le cas d'un brut ou d'un raffiné léger, attention aux risques d'explosion (► B2) et se munir si possible d'un explosimètre* ;
 - type de sinistre (naufrage, échouement, éruption pendant la phase d'exploitation...);
 - type de déversement du polluant (ponctuel ou continu, en surface ou en profondeur) ;
 - dernière observation de la pollution (date, aspect, localisation) ;
- recueillir les éléments d'information sur les conditions locales (météo depuis la

dernière observation, courants, état de la mer...).

Prendre connaissance auprès du centre de crise des dernières prévisions de dérives, recommandations du Comité de Dérive...

En l'absence de consignes d'un centre de coordination, estimer la localisation la plus vraisemblable de la pollution en calculant sa dérive probable (► A10) à partir, soit du lieu de déversement, soit de la dernière position observée.

- examiner la possibilité que d'autres secteurs non prospectés soient pollués, en tenant compte des circonstances locales : route du navire avant l'accident, autres apports de polluant tels que décrochement et dérive de nappes précédemment déposées sur la côte, nouvelle fuite de l'épave... ;
- en déduire la zone de recherche à couvrir par la mission et définir le profil de vol (► B4) ;
- prévoir l'aspect du polluant en fonction de ses caractéristiques (recherche de sa viscosité* à température ambiante, évaluation de sa propension à former une émulsion inverse) ou des dernières observations et anticiper sur les éventuelles difficultés de repérage (polluant peu flottant, nappes morcelées...);
- se munir de bouées à larguer dans les nappes, ensuite suivies par satellite.

L'exemple de l'*Erika*

Avant de se casser en deux, l'*Erika* a perdu du fioul qui est arrivé à la côte sans avoir été observé en mer, faute de recherches spécifiquement orientées vers le repérage de ces pertes non signalées par le capitaine du navire.

Sécurité des vols

Sécurité à bord

Les appareils volant au large doivent être au minimum bi-moteurs et disposer d'un certificat de navigabilité. L'appareil et l'équipage doivent être qualifiés pour effectuer des survols au-dessus de la mer ; Il est impératif que l'équipage de l'aéronef expose les règles de sécurité au personnel embarqué spécifiquement pour la mission d'observation :

- ▶ Port et fonctionnement des Equipements de Protection Individuelle (EPI*) : gilet de sauvetage, balise de localisation... ;
- ▶ Conduite à tenir à bord (port de la ceinture de sécurité, fonctionnement des communications...);
- ▶ Comportement à adopter en cas de crash en mer et de crash à terre.

Dangers liés aux produits

Le danger vient essentiellement des produits gazeux ou évaporants (hydrocarbures ou produits chimiques) dont les vapeurs inflammables, explosives et/ou toxiques pourraient atteindre l'aéronef et le personnel à bord.

Avant de décoller, l'équipage doit impérativement être informé des caractéristiques du produit par le centre de crise : aspect attendu (couleur...), comportement

attendu, densité* d'éventuelles vapeurs par rapport à l'air, dangers liés au produits.

Le centre de crise devra aussi communiquer les restrictions liées au vol d'observation, notamment l'altitude et la distance minimales à respecter pour ne pas engager l'aéronef dans une zone dangereuse.

Il préconisera également le port de certains EPI* adaptés, types masques à cartouche ainsi que l'emport éventuel d'équipements de détection (explosimètre*, toximètre*).

Le manuel d'observation aérienne de l'Accord de Bonn préconise, en cas d'absence d'information sur le produit et si l'équipage ne dispose pas d'EPI* spécifiques, que l'aéronef reste au vent du déversement, sauf si la vitesse du vent excède 15 nœuds, auquel cas le survol est possible à une altitude supérieure à 1000 pieds*. Ces préconisations peuvent évoluer au fur et à mesure que des informations sur le produit sont disponibles et si l'équipage est protégé.

Dans la pratique, en fonction du produit déversé, cette altitude pourra être fortement réduite. Les vapeurs d'essence sans plomb, par exemple, ont une densité* relative de l'ordre de 3 à 4, ce qui signifie qu'elles ne s'élèveront pas. Une altitude minimale d'une centaine de pieds* pourrait alors être envisagée.

Recherche de la pollution

Dans le cas d'un déversement d'ampleur significative, des prévisions de dérive des nappes seront effectuées quotidiennement, voire deux fois par jour à l'issue des survols (► A11). Il est impératif que ces cartes de prévision assorties de leurs commentaires soient transmises à l'autorité en charge de l'organisation des vols. Les cartes de prévision permettront de dresser des plans de vol adaptés. Il sera également utile de prendre en compte les commentaires, qui pourront par exemple recommander d'étendre la zone de survol vers un secteur particulier.

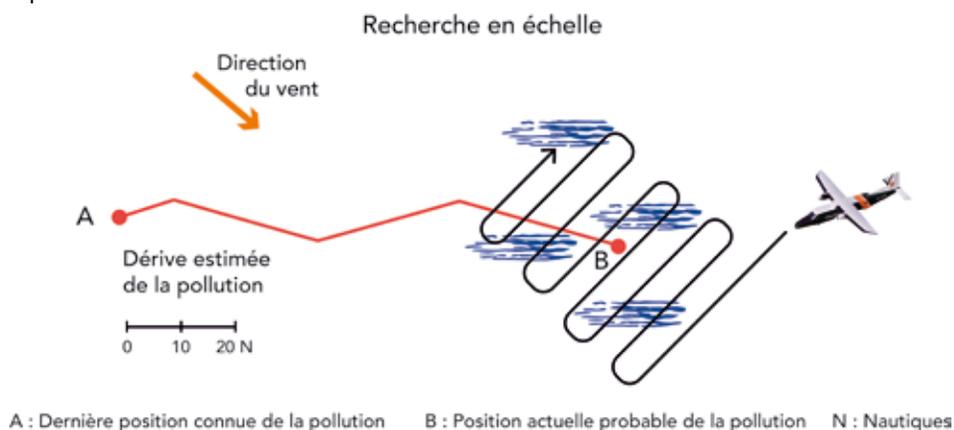
Les hydrocarbures ayant tendance à s'étaler en bandes parallèles au vent (► A7), il faut prospecter la zone à couvrir en volant travers au vent pour augmenter les possibilités de détection des nappes (recherche en échelle) :

- la brume et l'éblouissement créés par la surface de la mer ont souvent une incidence néfaste sur la visibilité. La position du soleil dicte, dans certains cas, la meilleure direction de vol ;
- l'altitude de recherche est fonction de la taille des nappes à positionner, de la visibilité et de l'état de la mer. Il faut optimiser la zone de balayage sans pour autant perdre le moindre détail important. En général, une altitude de

recherche autour de 1500 pieds* est un bon compromis ;

- rechercher en priorité les zones les plus polluées (plaques ou nappes épaisses, zones d'accumulation). En mer, suivre les plaques ou bandes de faible épaisseur (aspect reflet, arc-en-ciel ou métallique) dans la direction du vent pour rechercher d'éventuelles nappes épaisses sous le vent de la zone polluée (► A7) ;
- dans le cas d'une bande polluée ou d'un sillage frais, les suivre pour rechercher l'origine de la pollution. Cette origine sera le plus souvent située au vent, notamment si le point de déversement est fixe, mais aussi en amont du courant (► A10).

L'utilisation d'un SLAR* permettra d'accélérer la phase de recherche, ce capteur permettant, en fonction de l'altitude de l'aéronef, le balayage d'une zone de 15 à 20 milles nautiques de chaque côté de l'avion.



Profil de vol

Ce profil est adapté à la détection, l'identification et la description d'un produit coloré et flottant à la surface de l'eau (type hydrocarbure). Il devra être modifié s'il s'agit d'un autre type de produit.

Cas d'un vol de surveillance de routine

- si l'appareil dispose d'équipements de télédétection*, patrouiller dans la zone d'altitude optimale de recherche du SLAR* (entre 1500 et 5000 pieds*). En cas de détection, enregistrer la séquence ;
- si l'appareil ne dispose pas d'équipement de télédétection*, patrouiller dans la zone à l'altitude de patrouille optimale déterminée pour la mission ;
- si l'appareil dispose d'autres équipements de télédétection*, descendre entre 800 et 1500 pieds* afin d'enregistrer les images de ces capteurs (Scanner Ultra-violet/Infrarouge, Caméra FLIR/hyperspectrale...);
- descendre entre 100 et 500 pieds*, afin de procéder aux photographies qui serviront de support de preuve (► B9).

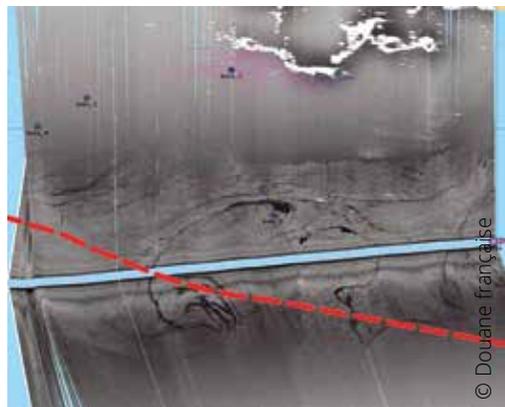
Plusieurs passes, à des altitudes et caps différents seront vraisemblablement utiles afin d'obtenir les images les plus adaptées. Dans tous les cas, une prise de vue du polluant à la verticale est nécessaire afin de faire mettre en évidence les différents codes d'apparence de l'Accord de Bonn*.

Cas d'une pollution accidentelle

- si l'appareil dispose d'équipements de télédétection*, patrouiller vers la zone à l'altitude optimale de recherche du SLAR* (entre 1500 et 5000 pieds*). En cas de détection, enregistrer la séquence ;
- sur la zone de détection, descendre à une altitude permettant de la valider visuellement (codes d'apparence de l'Accord de Bonn* ou autres données connues avant le survol [► B1]).



Recherche de la pollution après le naufrage de l'Erika en 1999



Recherche de la pollution, collision Ulysse/CSL Virginia en 2018

Utilisation de bouées

En cas d'accident, il est nécessaire de connaître la dérive du polluant et d'anticiper ses déplacements pour guider les navires assurant les opérations de lutte en mer et pour informer les autorités responsables de la lutte à terre dès les premières menaces d'arrivages sur le littoral. En complément des observations aériennes et des images satellitaires, des bouées dérivantes (ou bouées de marquage et de suivi) tracées par satellite peuvent être larguées. L'expérience des pollutions passées (grandes marées noires, rejets illicites, épaves) montre que des bouées dérivantes larguées par aéronef ou par bateau présentent les avantages suivants :

- ▶ suivre les dérives à distance (utile quand les conditions ne permettent pas les survols ou les observations) ;
- ▶ ne pas « perdre » des nappes non observées ultérieurement ;

- ▶ situer le lieu d'échouement de « petites pollutions » générées par les rejets illicites ;
- ▶ informer les populations quant à l'évolution des pollutions potentielles à partir d'épaves.

Plusieurs modèles de bouées, plus ou moins volumineuses, sont disponibles sur le marché.

Il est également possible d'en fabriquer : suite au naufrage du *Grande America* (► 16), la fondation AZTI* (Pays basque) a utilisé des bouées de fortune, constituées d'un GPS acquis dans le commerce et d'une boîte en plastique partiellement remplie de sable et d'une mousse expansée. Ces bouées ont donné des résultats très encourageants. Ces performances ont été confirmées par le Cedre lors d'essais en mer.

Bouées d'échantillonnage

Des bouées de prélèvement largables depuis un aéronef directement sur les nappes ont été récemment mises au point. Elles contiennent un morceau de toile Teflon® capable de retenir les hydrocarbures pour une future analyse et sont repérables grâce à l'émission de signaux lumineux et radio.



Bouées de marquage

Aspect des nappes

L'aspect peut prendre la forme :

- ▶ de films minces (reflets, arc-en-ciel, métalliques) de couleur argentée, plus ou moins colorés (raffinés légers ou pollutions faibles et très diffuses) - épaisseur : quelques microns ($< 50\ 000\ \text{l}/\text{km}^2$) ;
- ▶ de nappes d'épaisseur variable avec des couleurs discontinues sombres (noires ou brunes selon l'hydrocarbure), souvent entourées de films minces (reflets, arc-en-ciel, métalliques), en fonction du vieillissement de la pollution - épaisseur de $50\ \text{à}\ 200\ \mu\text{m}$ ($50\ 000\ \text{à}\ 200\ 000\ \text{l}/\text{km}^2$) ;
- ▶ nappe noire et film mince : pollution récente peu vieillie ;
- ▶ nappe brune à rouge et disparition progressive des films minces : émulsion vieillie par plusieurs jours de mer ;
- ▶ de plaques épaisses à bords francs de la couleur de l'hydrocarbure, le plus souvent brun sombre à orange, éventuellement entourées de films minces (plaques d'émulsion très vieilles par une semaine de mer ou plus) - épaisseur importante $0,2\ \text{à}\ 3\ \text{cm}$ et plus, soit de $200\ 000\ \text{à}\ 30\ 000\ 000\ \text{l}/\text{km}^2$, voire plus dans le cas d'hydrocarbures ou d'émulsions extrêmement visqueux ;
- ▶ de boulettes d'émulsion qui résultent du fractionnement de plaques épaisses en éléments de plus en plus petits, de plus en plus difficiles à apercevoir ;
- ▶ parfois, on peut également rencontrer des taches brunes à orangées (parfois noires) sous la surface de l'eau (comme un nuage), qui témoignent de la présence de pétrole dispersé suite à une opération de traitement (dispersant*).

B6

Attention

La couleur vraie discontinue (▶ B7) provient de l'apparence des nappes plus épaisses bordées de nappes plus fines (métalliques), c'est un effet produit par le mélange des deux apparences plus qu'une apparence spécifique.

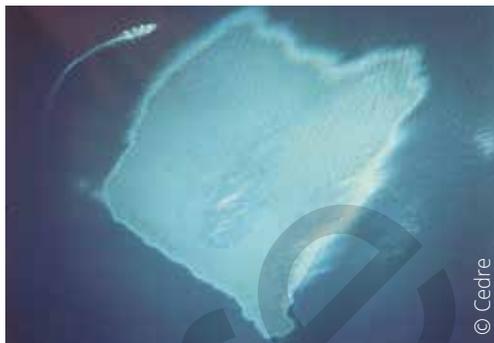
La couleur des nappes, plaques et traînées varie selon la luminosité, la couleur du ciel et l'orientation de l'observateur par rapport au soleil.

La disposition de la pollution peut être aléatoire ou orientée en bandes parallèles à la direction du vent.

Aspect des nappes



Reflét, arc-en-ciel, métallique



Nappe fraîche très étalée



Avec le vieillissement, apparition de zones plus épaisses sous le vent



Apparition des premières plaques épaisses d'émulsion

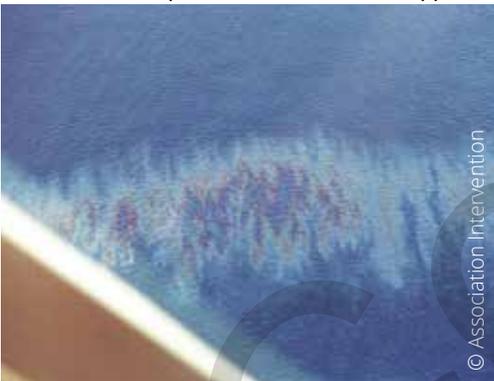


Au bout de quelques jours, les couches minces se sont dispersées, seules subsistent les plaques d'émulsion

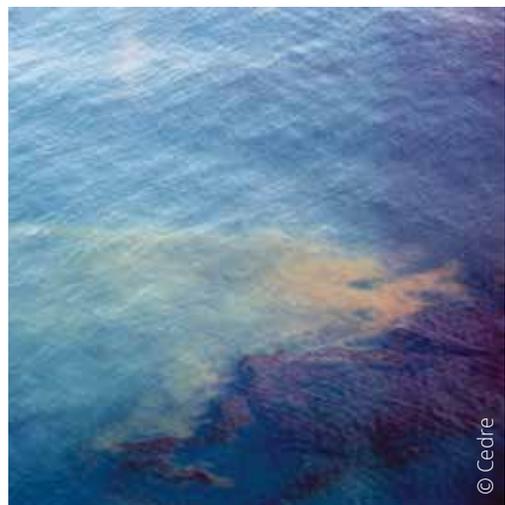
Aspect des nappes



En se morcelant, les plaques d'émulsion se transforment en boulettes de petite taille qui ne sont alors visibles qu'en observation très rapprochée



Le vent a pour effet de découper les nappes en bandes parallèles. Si le vent forçit, les irisations peuvent même disparaître



Traînées d'émulsion vieillie, disposées en bandes parallèles sous l'action du vent

Nappe de pétrole en partie dispersée chimiquement

Code d'Apparence de l'Accord de Bonn

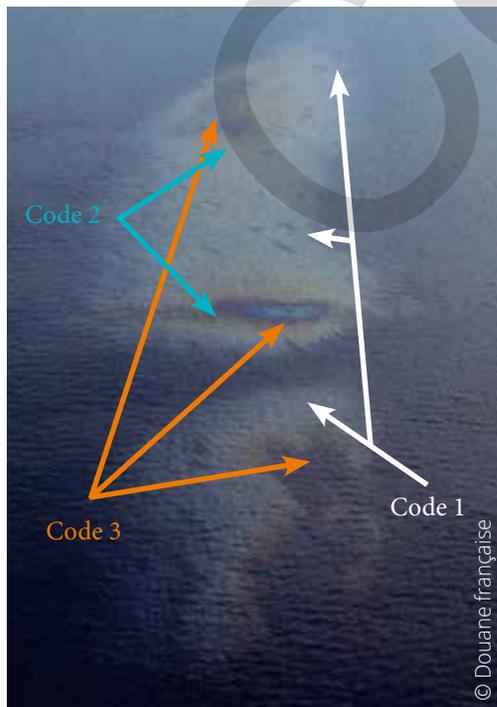
Le code d'apparence est issu d'une démarche scientifique visant à déterminer les quantités d'hydrocarbures déversées à l'aide des constatations visuelles de l'observation aérienne. Des études menées sous l'égide de l'Accord de Bonn

ont abouti à l'adoption d'un nouveau code d'apparence, applicable depuis janvier 2004, qui remplace l'ancien code couleur. Il doit être utilisé préférentiellement aux autres codes existants comme celui du Mémorandum d'Entente de Paris.

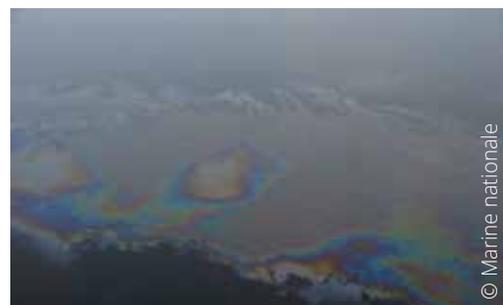
Code d'apparence	Épaisseur de la nappe (µm)	Quantités (Litres/km ²)
1. Reflet (gris argenté)	0,04 - 0,30	40 - 300
2. Arc-en-ciel	0,30 - 5	300 - 5 000
3. Métallique	5 - 50	5 000 - 50 000
4. Vraie couleur discontinue	50 - 200	50 000 - 200 000
5. Vraie couleur continue	> 200	> 200 000

Code applicable depuis janvier 2004

Ce code permet de caractériser les fines épaisseurs et d'évaluer l'ampleur des déversements.



Apparence : aspect reflet, métallique, code 3 majoritaire



Apparence : codes 1, 2, 3 et 4

Code 1 - Reflet (< 0,3 µm)

- ▶ Les couches très minces d'hydrocarbures réfléchissent la lumière entrante légèrement mieux que l'eau environnante et peuvent donc être observées comme reflets argentés ou gris. Tous les hydrocarbures dans ces couches minces peuvent être observés en raison de cet effet sans lien avec la couleur de l'hydrocarbure lui-même.
- ▶ Au-dessous d'approximativement 0,04 µm d'épaisseur, les films sont invisibles. Cependant, même des films plus épais peuvent ne pas être vus dans de mauvaises conditions d'observation. C'est ce qui se produit au-delà d'une certaine hauteur ou angle de vue, les films observés peuvent disparaître de la vue.

Code 2 - Arc-en-ciel (0,3 µm - 5 µm)

- ▶ L'apparence arc-en-ciel représente une gamme de couleurs jaune, rose, pourpre, vert, bleu, rouge, cuivre, orange. Ceci est provoqué par un effet d'optique indépendant du type d'hydrocarbure. Selon l'angle de vue et l'épaisseur de la couche, les couleurs distinguées seront diffuses ou très lumineuses.

Les films avec des épaisseurs proches de la longueur d'onde des différentes couleurs de la lumière (0,2 µm - 1,5 µm), à savoir pour le bleu (0,4 µm), le rouge (0,7 µm), montrent l'effet d'arc-en-ciel le plus distinct. Cet effet se produira jusqu'à une épaisseur de couche de 5 µm. Les mauvaises conditions de lumière peuvent entraîner des couleurs d'aspect atténué. Une étendue d'hydrocarbures dans la zone de l'arc-en-ciel montrera des couleurs différentes de la nappe en fonction des angles de vue.

Code 3 - Métallique (5 µm - 50 µm)

- ▶ L'apparence des hydrocarbures dans cette plage ne peut être décrite comme une couleur générale car elle dépend du type d'hydrocarbure et de l'épaisseur de la couche de polluant. Là où on peut observer une gamme de couleurs à l'intérieur d'une zone arc-en-ciel, l'aspect métallique apparaît comme couleur tout à fait homogène qui peut être bleue, brune, pourpre, violette ou d'une couleur différente. L'aspect métallique est le facteur commun et a été identifié comme un effet de miroir, dépendant des conditions de lumière et de ciel. Par exemple, le bleu peut être observé dans des conditions de ciel bleu.

Code 4 - Vraie couleur discontinue (50 µm - 200 µm)

- ▶ Pour des nappes d'une épaisseur supérieure à 50 µm, la couleur vraie dominera graduellement la couleur qui est observée. Les hydrocarbures bruns apparaîtront bruns et les noirs apparaîtront noirs. La nature interrompue de la couleur, due à des secteurs plus minces dans la nappe, est décrite comme discontinue.

Ceci est provoqué par les effets du vent et du courant sur l'étalement de la nappe.

Discontinu ne doit pas être confondu avec le taux de couverture. Discontinu implique de véritables variations de couleur et non des secteurs non pollués.

Code 5 - Vraie couleur continue (> 200 µm)

- ▶ La vraie couleur de l'hydrocarbure est l'effet dominant de cette catégorie. On peut observer une couleur homogène sans discontinuité comme décrit en Code 4. Cette catégorie est fortement liée au type d'hydrocarbure et les couleurs peuvent être plus diffuses dans des conditions d'obscurité ou de ciel couvert.

Observation à partir d'un navire

Les possibilités d'observation d'une pollution à partir de la passerelle d'un navire sont très limitées : même si le regard porte loin, il est difficile de repérer une nappe fine en surface, et impossible d'identifier les zones d'épaisseur significative ou d'estimer la surface polluée.

Il est possible d'améliorer cette capacité d'observation en utilisant les moyens suivants :

Radars spécifiques

Plusieurs sociétés proposent des systèmes de radars adaptés à la détection à partir de navires. Ils fonctionnent sur le même principe qu'un SLAR* d'aéronef : détection de zones plus « plates » à la surface de l'eau, pouvant indiquer la présence d'une nappe d'hydrocarbures « écrasant » les vagues. Ils permettent dans une certaine mesure d'avoir une idée de l'épaisseur relative des nappes, donc de localiser les parties à traiter en priorité.

Ces systèmes fonctionnent dans l'obscurité mais sont pénalisés par l'absence de vent (vitesse minimale : 4 nœuds). La détection deviendra également difficile si la mer est trop agitée.

La portée théorique dépend des modèles mais ne s'étend pas au-delà de 4 milles marins.

Ballons captifs

Il existe des ballons captifs déployables depuis un navire et pouvant embarquer différents capteurs en plus du visible.

À titre d'exemple, le Cedre a réalisé il y a quelques années des essais sur un ballon rempli d'hélium, d'un volume de 8,5 m³ et présentant une capacité d'emport de 3 kg. En

plus d'une caméra vidéo à haute définition équipée d'un zoom, il peut recevoir une caméra infra-rouge. Il se déploie en moins d'une heure et occupe une place de 2 à 4 m² sur le pont du navire. Sa portée de détection est d'environ 2 milles à l'altitude de 150 m, avec une autonomie de 8 heures. Il ne peut être déployé au-delà de 15 nœuds de vent.

Drones*

Des drones* de petites tailles, à voilure tournante, peuvent être lancés depuis des navires de lutte puis récupérés sur ceux-ci. Il est notamment possible d'utiliser des drones* disponibles dans le commerce, qui peuvent pour certains emporter des capteurs type infrarouge. Toutefois, leur autonomie est limitée à quelques dizaines de minutes et leur portée à quelques nautiques. Ces drones sont particulièrement utiles pour optimiser la position du ou des navires sur la zone traitée

Tous ces dispositifs représentent une aide au positionnement du navire lors qu'il a déjà été orienté vers la zone polluée grâce à une mission d'observation aérienne. Ils ne peuvent en aucun cas permettre à un navire d'effectuer une recherche de pollution en mer.

Documents photographiques et vidéos

Cas d'un rejet illicite

Les documents photographiques et vidéos sont des éléments de preuve pour la répression des rejets illicites. Idéalement, toutes les informations nécessaires peuvent être fournies par trois vues complémentaires :

- ▶ une vue détaillée de la nappe, photographiée pratiquement à la verticale depuis une altitude inférieure à 900 pieds*, le soleil étant derrière le photographe ;
- ▶ une vue d'ensemble du navire et de la nappe montrant que les hydrocarbures proviennent d'un navire particulier ;
- ▶ une vue détaillée du navire permettant de l'identifier (couleur de la coque, des cheminées, nom...).

En pratique, on prendra une série de photographies montrant le navire et son sillage pollué, l'étendue du sillage (sans discontinuité), le nom du navire et les alentours (en particulier, si possible, d'autres navires présentant des sillages « propres » pour comparaison sur le même cliché) pour bien montrer que c'est le navire en question qui est en train de polluer ou encore une photo de la mer « propre » devant et autour du navire.

On peut éventuellement ajouter un cliché montrant l'endroit d'où semble provenir le rejet, même si ce point peut prêter à confusion. Dans tous les cas, ne pas s'engager en affirmant que c'est effectivement le rejet polluant qui est visible sur la photographie.

En effet, un navire rejette également des

liquides non polluants (eaux de refroidissement par exemple).

Si l'avion est équipé de capteurs spécifiques, ajouter au dossier les images SLAR et infra-rouge.

En l'absence de photographies, le dossier transmis aux autorités judiciaires comprendra au moins les éléments suivants : l'image SLAR*, la thermographie infrarouge du sillage et l'identification du navire. Afin d'assurer toute l'efficacité possible dans la lutte contre les pollutions tant accidentelles que volontaires, une information de tous les acteurs sur les capacités des moyens de télédétection* est nécessaire.

Cas d'une pollution accidentelle

Dans le cas d'une pollution majeure, il sera impossible de photographier l'intégralité du polluant. Il est cependant important de prendre en photo, toujours pratiquement à la verticale, les différents types de nappes, taches ou galettes rencontrées : ces vues seront utiles pour confirmer ou infirmer les hypothèses quant au vieillissement du produit et contribueront à l'estimation du volume restant en mer. Prendre également si possible des vues permettant d'évaluer l'ampleur de la pollution et la disposition du polluant à la surface.



© Douane française

Photo montrant la proximité du navire et de la nappe

Photographie aérienne

Les photographies et vidéos peuvent être réalisées à partir d'appareils photographiques, de caméras vidéo ou de téléphones portables, les modèles récents proposant souvent une excellente résolution.

Conseils

- ▶ avant la mission, régler la date et l'heure de l'appareil photo numérique ou du téléphone. Si besoin, synchroniser la date et l'heure de l'appareil photo avec celle du boîtier GPS ;
- ▶ pendant le vol, ne pas s'appuyer contre la paroi de l'avion, ni placer l'appareil en contact avec un hublot (afin d'éviter les vibrations) ;
- ▶ opérer très près du hublot (environ 1 cm) et parallèlement à sa surface pour éviter tout reflet des couleurs ;
- ▶ attention à l'orientation de la lumière, ainsi qu'aux couleurs mer/ciel qui peuvent se confondre. Ne pas hésiter à prendre plusieurs photos sous différents angles ;
- ▶ si possible, photographier vers midi (heure solaire), surtout éviter l'aube et le coucher du soleil (influence sur le rendu des couleurs) ;
- ▶ tenir compte des marées pour les photographies côtières ;
- ▶ survoler à basse altitude pour obtenir les meilleurs détails ;
- ▶ après la mission, archiver soigneusement les prises de vues réalisées.

B10



Opérateur photo embarqué

Téledétection

Le tableau page suivante récapitule les modes de fonctionnement, capacités et limites de plusieurs capteurs disponibles à l'heure actuelle.

La plupart des aéronefs de surveillance aéro-maritime sont dotés de moyens de prises de vues photographiques et vidéo dans le spectre visible, de capteurs infra-rouge et ultra-violet ainsi que d'un radar à visée latérale (SLAR*).

Les radiomètres micro-ondes*, qui pouvaient donner des informations intéressantes sur les épaisseurs réelles de polluant ainsi que les lasers fluoro-senseurs, qui permettaient d'identifier certains produits présents dans une base

de données, ont équipé certains de ces avions avant d'être abandonnés, l'apport opérationnel de ces outils ne permettant pas de compenser la surcharge de masse dans l'aéronef.

Les caméras multispectrales* et hyperspectrales*, qui donnent de bons résultats en terme de qualification et de quantification des produits (notamment les substances chimiques), ne sont pas encore installées en routine.

L'analyse des images de la plupart de ces capteurs nécessite le concours d'un opérateur expérimenté.

Ainsi, les images obtenues des radars à ouverture synthétique, des radars à visée latérale, des capteurs infra-rouge et ultra-violet présentent des taches noires/grises plus ou moins foncées sur un fond gris. S'il s'agit effectivement d'une pollution par hydrocarbures, les nuances de gris peuvent donner une idée des épaisseurs relatives.

Dans tous les cas, une validation visuelle est nécessaire.

Dans un cadre juridique, en l'absence de photographies, le dossier transmis aux autorités judiciaires comprendra au moins les éléments suivants : l'image SLAR*, la thermographie infrarouge du sillage et l'identification du navire. Afin d'assurer toute l'efficacité possible dans la lutte contre les pollutions tant accidentelles que volontaires, une formation de tous les acteurs sur les capacités des moyens de téledétection* est nécessaire.



Écrans infra-rouge et visible (avion de surveillance de la Douane française)

PRINCIPAUX TYPES DE DÉTECTEURS EXISTANTS ET CARACTÉRISTIQUES CLÉS				
Nom du détecteur	Radar à ouverture synthétique (SAR)	Radar à visée latérale (SLAR)	Radiomètre à micro-ondes (MWR)	Détecteur laser fluorescent (LFS)
CARACTÉRISTIQUES D'UTILISATION				
Méthode de détection	Rétrodiffusion	Rétrodiffusion	Émission de micro-ondes	Fluorescence induite par UV
Type de capteur	Actif	Actif	Passif	Actif
Satellite/Avion/Drone	Satellite/Avion	Avion	Avion/Drone	Avion/Drone
CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES				
Période de la journée	Nuit et jour	Nuit et jour	Nuit et jour	Nuit et jour
Limitations atmosphériques	Moins efficace en cas de fortes pluies	Moins efficace en cas de fortes pluies	Nécessité d'un ciel dégagé	Nécessité d'un ciel dégagé
État de mer (en Beaufort/Bf)	1 < Bf < 6	1 < Bf < 6	1 < Bf < 6	< 3 Bf
Présence de glace	Limite la détection	Limite la détection	Limite la détection	Limite la détection
DÉTECTABILITÉ				
Comportement SEBC	Substances flottantes	Substances flottantes	Substances flottantes	Substances flottantes
LIMITATIONS				
Opérabilité	Faux-positif possible	Faux-positif possible	Requiert une comparaison de spectres enregistrés dans une base de données. Dans certains cas, seules des bases de données relatives à des transmissions de substances sont nécessaires	Une base de données de spectres associée avec les types de substances recherchées. Dans certains cas, seules des bases de données relatives à des transmissions de substances sont nécessaires
Présence d'îlots	Peut gêner la détection	Peut gêner la détection	Peut gêner la détection	Peut gêner la détection
Détermination de l'épaisseur	Aucune méthode certifiée pour mesurer l'épaisseur. Différences d'épaisseurs visibles	Aucune méthode certifiée pour mesurer l'épaisseur. Différences d'épaisseurs visibles	Aucunes mesures si l'épaisseur < 50 µm. Détermine l'épaisseur après calibrage	Identification possible si 0,1 < épaisseur < 10 µm

(Visible et infrarouge)	Multi-spectre optique et thermique (visible et infrarouge)	Ultraviolets (UV)	Vidéos et photographies	Œil humain
Réflectance	Réflectance	Réflectance	Réflectance	Réflectance
Passif	Passif	Passif	Passif	Passif
Avion/Drone	Avion/Drone	Avion/Drone	Satellite/ Navire/ Drone	Avion
IR : nuit et jour	IR : nuit et jour	Jour	Jour	Jour
Visible : nécessité d'un ciel dégagé	Nécessité d'un ciel dégagé	Présence de soleil	Nécessité d'un ciel dégagé	Nécessité d'un ciel dégagé
< 5 Bf	< 5 Bf	< 5 Bf	< 5 Bf	< 5 Bf
Limite la détection	-	Limite la détection	-	-
Substances flottantes (visible), évaporantes (IR)	Substances évaporantes IR : 5-12 µm, Substances flottantes (si dans le spectre visible)	Substances flottantes	Substances flottantes dans le spectre visible	Substances flottantes et évaporantes dans le spectre visible
Dans certains cas, seules des bases de données relatives à des transmissions de substances sont nécessaires	Faux-positif possible. Une base de données de spectres associée avec les types de substances sur lesquelles il est recherché. Dans certains cas, seules des bases de données relatives à des transmissions de substances sont nécessaires	-	Faux-positif possible	Limites HSE, fatigue, différences en termes d'interprétation, faux positifs
-	-	-	-	-
Détection seulement des valeurs d'épaisseur les plus basses	~ 10 µm	~ 0,1 µm	Aucune méthode certifiée pour mesurer l'épaisseur. Utilisation du code d'apparence de l'Accord de Bonn•	Aucune méthode certifiée pour mesurer l'épaisseur. Utilisation du code d'apparence de l'Accord de Bonn•

Utilisation des drones

Les drones aériens sont un moyen complémentaire d'observation des pollutions.

Ils peuvent être utilisés pour :

- confirmer ou infirmer la présence d'une pollution, avec l'avantage de pouvoir être déployés dans des zones potentiellement dangereuses pour les opérateurs du fait de la présence de vapeurs toxiques, inflammables ou explosives (avec un risque de perte de l'engin dans ce cas précis),
- localiser la pollution et, plus précisément, identifier les zones de fortes épaisseurs qui doivent être traitées en priorité,
- guider et évaluer les opérations de lutte,
- prendre des images, de jour ou de nuit car il est possible à l'heure actuelle de les équiper de capteurs infra-rouge,
- pour certains, équipés de récepteurs AIS, d'identifier les navires à proximité.

Les drones à voilure fixe bénéficient d'une autonomie importante (au-delà de 10 heures) et par suite d'une portée de plusieurs centaines de kilomètres et peuvent être déployés à des altitudes comparables à celles des avions. Leur mise en œuvre peut cependant nécessiter la disponibilité d'une piste d'aviation pour les faire décoller et atterrir.

Les drones à voilure tournante ont une autonomie beaucoup plus limitée (de quelques dizaines de minutes à quelques heures) et une altitude plus réduite. En contrepartie, ils permettent des observations en vol stationnaire et peuvent théoriquement être déployés

et récupérés depuis un navire disposant d'une plate-forme suffisante (15 à 20 m²). La manœuvre reste cependant délicate, notamment en cas de mer formée ou de vent important.

Ces engins doivent être mis en œuvre par des opérateurs certifiés.

Dans la plupart des pays, l'utilisation de ces aéronefs est soumise à autorisation du ministère chargé de l'aviation civile. Certaines zones peuvent ainsi être interdites de survol.

Il convient d'être extrêmement prudent lors du déploiement de ces engins et de mettre en place un contrôle aérien rigoureux. Il est notamment nécessaire de s'assurer de l'absence de risque d'interaction entre les drones et d'autres aéronefs (par exemple en réservant des plages horaires aux vols de drones et d'autres au survol d'avions et hélicoptères).

Concernant la surveillance des rejets illicites, à ce jour, aucun tribunal en France n'a prononcé de condamnation suite à une observation faite par un drone.



Mise en œuvre d'un drone à partir d'un navire de la Marine nationale

Détection par satellite

Les images radar satellites (SAR* : *Synthetic Aperture Radar*) fournissent le même type d'informations que le radar latéral aérien (SLAR*). Ces radars SAR* ont une résolution spatiale constante pour tout le faisceau balayé qui dépend du mode radar requis à la programmation du satellite.

Comme indiqué précédemment (► B11), les images montrent des taches noires ou grises plus ou moins foncées et doivent donc être interprétées. Une validation sur place par l'œil humain est nécessaire.

Dans le cadre d'une pollution majeure, ces images permettent d'avoir une vue globale de la zone affectée et contribuent à améliorer la programmation des vols.

Lorsqu'il s'agit de missions de surveillance de routine, les rejets illicites des navires doivent être signalés dans les délais les plus brefs. Si le rejet est en cours lors du passage du satellite (c'est-à-dire une nappe observée dans le sillage d'un navire), il est possible de dépêcher un aéronef pour confirmer la pollution et constater la flagrance.

Ceci implique un très court délai entre l'acquisition de l'image satellitaire et la transmission de celle-ci et du rapport de pollution aux autorités compétentes.

Ceci est rendu possible, au sein de l'Union européenne, par le service CleanSeaNet* proposé par l'AESM* qui permet la transmission à l'autorité concernée d'images interprétées accompagnées d'un rapport dans un délai de 30 minutes.

Pour les besoins de l'opération de traitement de la pollution en mer, la fréquence des passages satellites au-dessus de la

zone peut être éventuellement augmentée.

Hors Europe, des entreprises proposent également la mise à disposition d'images interprétées.

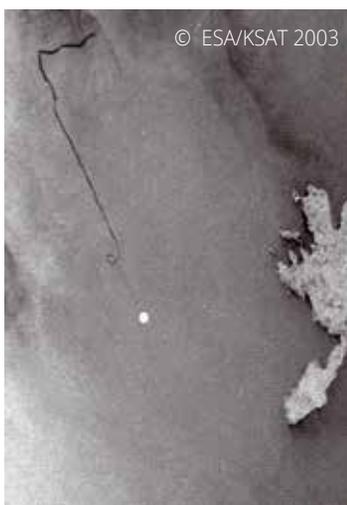
Des images optiques sont également disponibles. À l'heure actuelle, elles restent difficiles à utiliser pour la détection de nappes d'hydrocarbures, le risque de confondre des éléments naturels (ombre des nuages, algues, fond de la mer...) avec le polluant étant élevé. Par contre, elles se révèlent très utiles pour localiser des conteneurs perdus à la mer ou des débris colorés.

Collision *Ulysse/CSL Virginia* (France, 2018)

L'AESM* a fourni en tout 15 images, la première le lendemain de la collision. Onze images SAR* ont été produites, dont l'une montrait une nappe de 50 km. Quatre images optiques haute-résolution de zones proches du littoral ont été diffusées.

Incendie et naufrage du *Grande America* (golfe de Gascogne, 2019)

L'EMSA a fourni en tout 57 images, dont les premières le lendemain de l'accident. Les images SAR* ont été utilisées pour suivre les nappes de fioul lourd ; les images optiques ont servi à localiser les conteneurs et débris flottants.



Rejet en cours. Le navire pollueur est représenté par un point blanc. Image Envisat ASAR large balayage acquise à 20h30 UTC



La même pollution observée sur un scan SAR étroit par Radarsat-1 le lendemain à 16h13 UTC



Pollution de l'Ulysse/CSL Virginia, 2018

Guidage des moyens de lutte et évaluation de l'efficacité des opérations

Des cas récents de pollution maritime ont démontré une nouvelle fois l'importance du guidage lors des opérations de lutte en mer. Même si certains dispositifs permettent aux navires d'avoir une idée de la zone polluée autour d'eux (► B8), le guidage aérien permet d'améliorer significativement l'efficacité des opérations de récupération. Quant à l'épandage aérien de dispersants*, celui-ci se fait à si basse altitude que les opérateurs ont besoin d'un guidage pour cibler les parties les plus épaisses des nappes.

Plusieurs actions sont possibles :

- fournir une description détaillée (cartographique) de la pollution au niveau de la zone où intervient le navire ou la flottille ;
- diriger le navire sur les parties les plus épaisses en apparence en indiquant un azimut/distance ;

Par ex. : 30° droite 200 m, une nappe de 20 m de large et 200 m de long qui sera dans l'axe ;

- indiquer l'emplacement et la forme des nappes, en précisant les zones (ou plaques) de forte épaisseur sur lesquelles doivent se concentrer les opérations antipollution ;
- larguer des bouées de suivi (et en indiquer l'emplacement au navire) ou des fumigènes qui indiqueront la zone à traiter ainsi que la direction du vent ;
- guider les opérations en direct et en apprécier l'efficacité.

Confinement et récupération

L'équipage de l'aéronef peut guider les navires vers les zones épaisses, vérifier l'efficacité du confinement (visualisation des fuites de polluant, estimation de leur importance par utilisation du code d'apparence de l'Accord de Bonn*), voire de

la récupération (en cas d'utilisation de *sweeping arms* par exemple).

Il est à noter que ces opérations pour être fructueuses, doivent s'opérer à très faible vitesse, ce qui signifie que l'avion de guidage doit manœuvrer sans cesse pour revenir sur la zone de travail. Un guidage par hélicoptère peut être plus fluide



Récupération par *sweeping arms*, (collision Ulysse/CSL Virginia, 2018)

Épandage de dispersant

Le but est là aussi de guider navires et aéronefs vers les nappes les plus épaisses, d'indiquer quand commencer à épandre et quand cesser et d'évaluer les résultats de l'opération.

Lorsque la décision de disperser est prise, il est utile de commencer par faire un essai sur une zone limitée afin de valider

la pertinence de la technique. Depuis l'espace aérien, il est relativement aisé de constater le changement d'apparence de la nappe, qui devient un « nuage » jaune à orangé visible sous la surface. En cas d'émulsion, il est souvent nécessaire d'effectuer un deuxième passage pour parvenir à ce résultat.

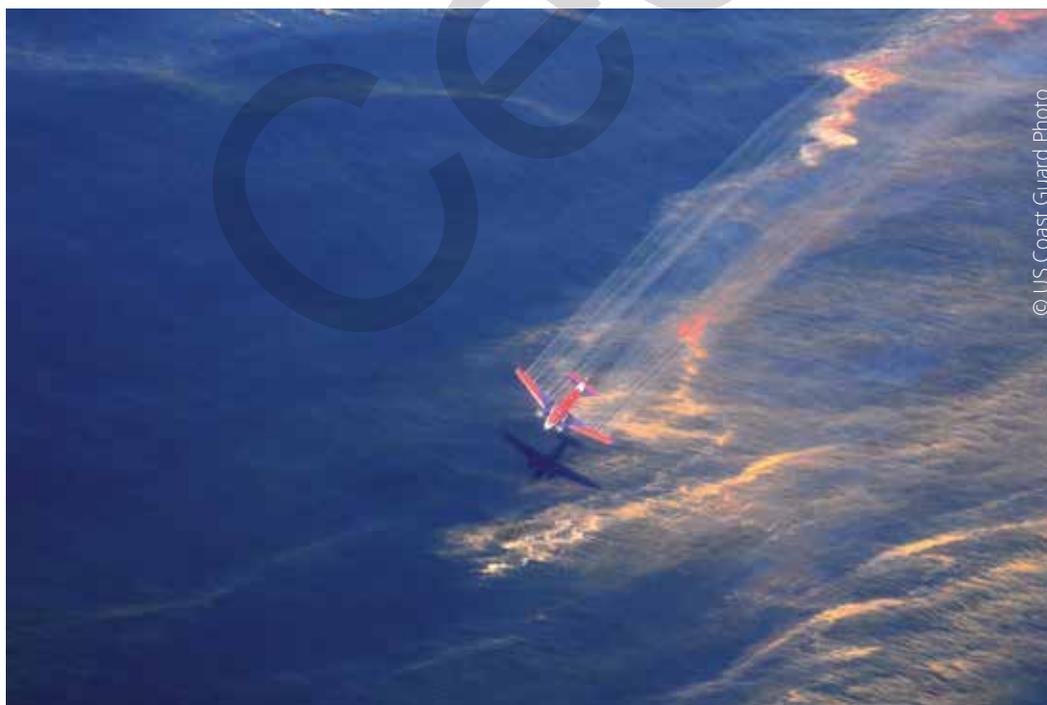
Si cet essai est fructueux, les opérations à plus grande échelle peuvent commencer.

L'épandage est généralement effectué face au vent. On ne traite que les épaisseurs correspondant aux codes 4 et 5 de l'Accord de Bonn*.

Le travail face au vent implique des manœuvres très régulières pour se replacer. Ceci augmente significativement les temps de vol pour l'aéronef de guidage.

L'épandage par avion est réalisé à très faible altitude : selon les circonstances, le type d'appareil, l'état de mer et les règles de sécurité sur place, il peut se faire entre 30 et 150 pieds*, à une vitesse comprise entre 100 et 150 nœuds. L'aéronef ne se place à cette hauteur que pendant l'épandage : il reprend de l'altitude à la fin de chaque passe et effectue sa manœuvre de remplacement, par exemple, à 300 pieds*, avant de redescendre pour une nouvelle passe.

Il est impératif que l'aéronef de guidage soit à une altitude très significativement différente (par exemple 700 pieds*) afin d'éviter tout risque de collision. Il doit avoir un visuel sur l'avion d'épandage en permanence et les contacts radio doivent être fréquents sur une fréquence dédiée.



© US Coast Guard Photo

Épandage aérien de dispersant
(Pollution de DeepWater Horizon, USA, 2010)

Cartographie

Reporter les observations sur une carte est essentiel : cette présentation permet une compréhension immédiate de la situation et de ses évolutions possibles.

Plusieurs possibilités existent :

- ▶ cartographie directement fournie par le système de mission
- ▶ cartographie effectuée à terre sur un Système d'Information Géographique à partir des coordonnées fournies par les observateurs
- ▶ cartographie effectuée à bord par les observateurs, sur un fond de carte papier (éventuellement plastifié) ou par exemple sur une tablette ou un téléphone sur lesquels un fond de carte adapté aura été téléchargé avant le vol.

La méthode proposée dans ce chapitre est directement inspirée de celle adoptée au niveau international pour l'observation des glaces en zone polaire

B15

Identification de la carte

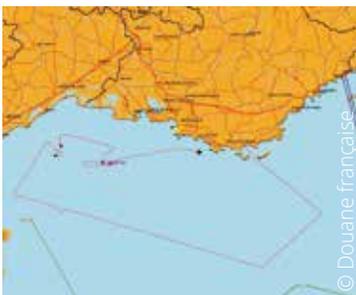
Porter dans un angle du document :

- la date et les heures du vol
- la zone survolée
- le numéro de la carte (dans le cas où plusieurs cartes sont produites pendant le vol)
- le nom de l'observateur et de l'unité à laquelle il appartient
- le type d'aéronef et les capteurs utilisés
- les données météorologiques : nébulosité, couleur du ciel et de l'eau, état de la mer

Report des observations

Sur le fond de carte préparé avant la mission :

- reporter en traits pleins les contours de chaque zone polluée observée
- préciser pour chaque zone la nature de la pollution selon les critères indiqués page suivante (utiliser les abréviations proposées) et en pointillés le trajet de l'avion.
- Ce rendu s'applique au rapport à fournir en fin de mission. La prise de notes pendant le vol peut être adaptée aux circonstances et aux pratiques de l'observateur.



Le système de navigation de l'avion associé à une cartographie permet de générer un rapport de mission avec en incrustation le trajet de l'avion et les observations effectuées

Description de la pollution	Abréviation
Couleur/apparence (► B7)	
1. Reflets	code 1
2. Arc-en-ciel	code 2
3. Métallique	code 3
4. Vraie Couleur Discontinue	code 4
5. Vraie Couleur Continue	code 5
Pour 4 et 5, indiquer :	
noir	nr
brun	br
orange	or
Taille	
• Nappe (\emptyset ou L > 30 m)	nap
• Plaque (50 cm < \emptyset ou L < 30 m)	pl
• Galettes (10 cm < \emptyset < 50 cm)	gal
• Boulettes (\emptyset non discernable)	bl
État du polluant	
• Pétrole frais	pf
• Pétrole dispersé	disp
• Pétrole émulsionné	emul
Disposition	
• Aléatoire	•
• En bandes parallèles	//
Macrodéchets	mcde

Taux de couverture

Il est indiqué en % en se référant aux représentations graphiques (► B16). Si on est en présence de plaques épaisses et de couches minces (reflet/arc-en-ciel/métallique), préciser si possible, leur taux de couverture respectif (ex. : 5 % pl - 30 % code 3).

Dimension des nappes

La dimension moyenne des plaques d'émulsion (ou éventuellement des nappes de pétrole frais) est exprimée en mètres.

Ces indications sont reportées, groupées l'une au-dessous de l'autre, de la façon suivante :

- type et disposition
- couverture
- dimension

Exemple de notation : pollution sous forme de bandes arc-en-ciel, couvrant 40 % de la surface de la mer, assortie de plaques couvrant 3 % de la surface de la mer, dimension moyenne des plaques : 10 m.

- pl + code 2 //
- 40 % code 2 - 3 % pl
- 10 mètres

Par souci de clarté, ces indications peuvent être reportées sur les bords de la carte en prenant soin de préciser par une flèche à quel point de la carte elles se réfèrent.

Si la même description s'applique à plusieurs zones, reporter les critères descriptifs dans un coin de la carte en l'affectant d'une lettre et reporter cette lettre dans chaque zone concernée (voir exemple de carte page suivante).

Dans le cas où une zone polluée s'étend au-delà de l'horizon : noter la limite de visibilité à l'aide d'une ligne pointillée.

Autres indications

- préciser la route suivie par des traits droits ponctués de croix

ex. : - + - + - + -

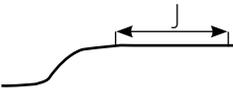
- noter les parties de côte touchées

ex. : 

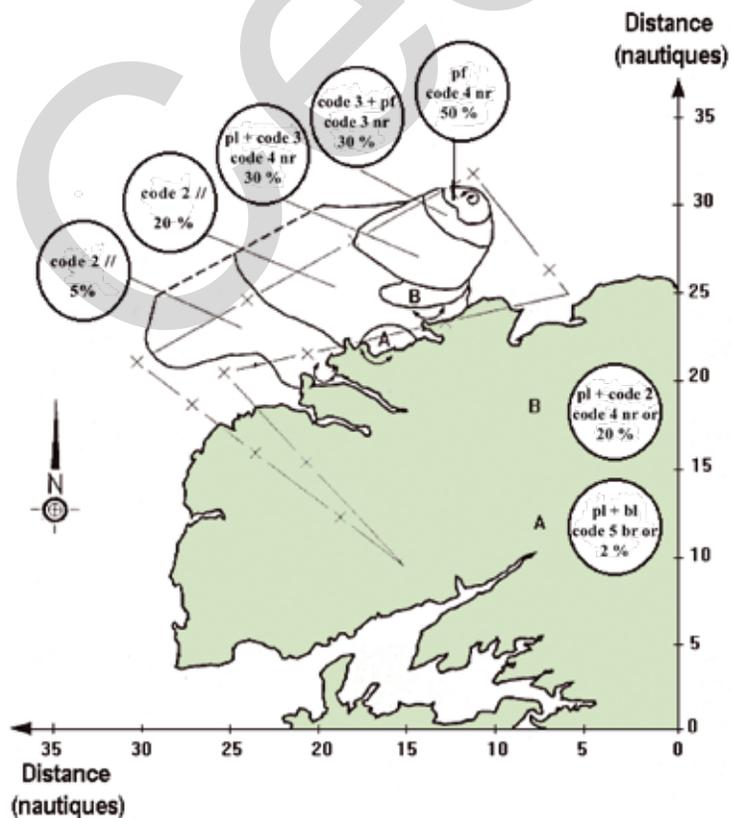
- noter également les remontées de pétrole à la surface (cas de fuites provenant d'un pipeline ou d'une épave immergée)

ex. : 

- les remarques et observations diverses peuvent être transcrites en bord de carte ou sur une page annexe en prenant soin de les référencer par une lettre sur la carte à l'emplacement concerné

ex. : 

J : galets souillés en haut de plage



Exemple de carte de synthèse utilisant les abréviations présentées

Calcul de volumes

Cette évaluation très délicate est néanmoins nécessaire. Elle se réalise à partir des cartographies, en confrontant les estimations de surface polluée et d'épaisseur des nappes.

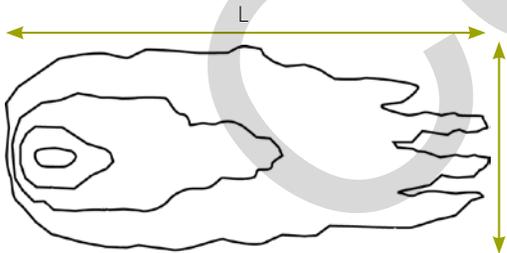
Estimation en mer

► surface

Ne considérer que les plaques épaisses et les accumulations qui représentent l'essentiel du volume de la pollution à l'exclusion des zones irisées (faibles épaisseurs).

Cette surface est obtenue en multipliant la surface globale de chaque zone par son taux de couverture (plaques épaisses).

On peut également calculer directement la surface d'une nappe ou d'une accumulation de boulettes en déterminant ses dimensions grâce au GPS de bord, au SLAR* ou au scanner IR/UV* ;



► épaisseur

1) Observation visuelle

Pour une pollution majeure, en première approximation et en l'absence d'indications contraires, prendre la valeur basse de la fourchette correspondant au code d'apparence de la pollution observée (► B7) ;

2) Calcul instrumental

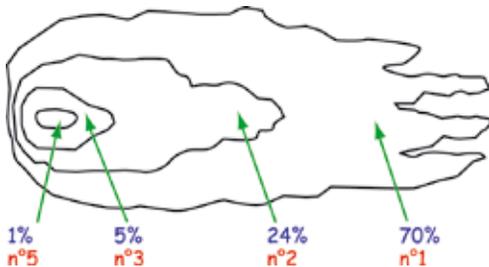
À l'aide du radiomètre micro-ondes* (MWR*) ou du senseur laser fluorescent (LFS*).

$L = 12 \text{ Km} / l = 2 \text{ km}$

Surface totale = 24 km²

Couverture 80 %

Surface couverte : $24 \times 80 \% = 19,20 \text{ km}^2$



- n° 1 (reflet) 0,04 / 0,3 µm.
- n° 2 (arc-en-ciel) 0,3 / 5,0 µm.
- n° 3 (métallique) 5,0 / 50 µm.
- n° 5 (vraie couleur continue) plus de 200 µm.

Estimation minimum	Estimation maximum
N° 1 $19 \times 70 \% \times 0,04 = 532 \text{ l}$	$\times 0,3 = 3\ 990 \text{ l}$
N° 2 $19 \times 24 \% \times 0,3 = 1\ 368 \text{ l}$	$\times 5,0 = 22\ 800 \text{ l}$
N° 3 $19 \times 5 \% \times 5,0 = 4\ 750 \text{ l}$	$\times 50 = 47\ 500 \text{ l}$
N° 5 $19 \times 1 \% \times 200 = 38\ 000 \text{ l}$	38 000 l
TOTAL 44 650 l	TOTAL 112 290 l

L'épaisseur pouvant être très importante et ne pouvant être déterminée par avion, on prend ici l'épaisseur minimum par défaut.

Exemple d'estimation à partir du code d'apparence de l'Accord de Bonn (conception : J-P Castanier, Douane française ; base de calcul : Alun Lewis, consultant)*



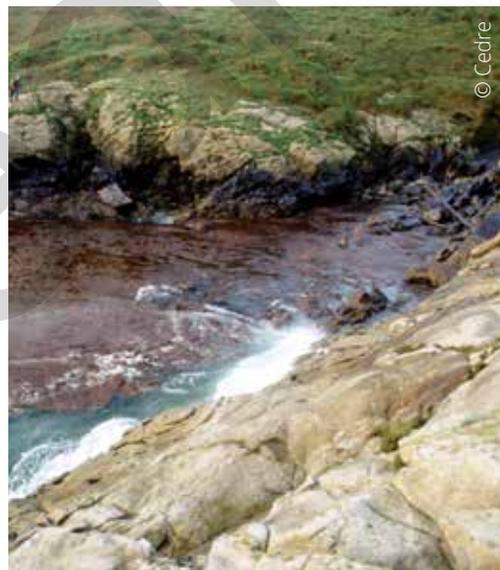
Utilisation du SLAR* : détournage des nappes - calcul de la surface par le système de l'avion de surveillance espagnol

Estimation à la côte

Si les surfaces peuvent être estimées assez rapidement (longueur de littoral touché multipliée par largeur de la zone couverte), l'épaisseur est très aléatoire (de quelques millimètres à plusieurs décimètres).

De plus, à la côte, les risques d'erreur et de confusion sont augmentés par la présence d'autres facteurs : déchets, algues... (► B18).

L'évaluation d'une pollution sur le littoral nécessite une reconnaissance terrestre pour être précise.



Arrivée à terre de fioul lourd émulsionné issu du naufrage du pétrolier Prestige (Galice, Espagne, 2002)

Attention

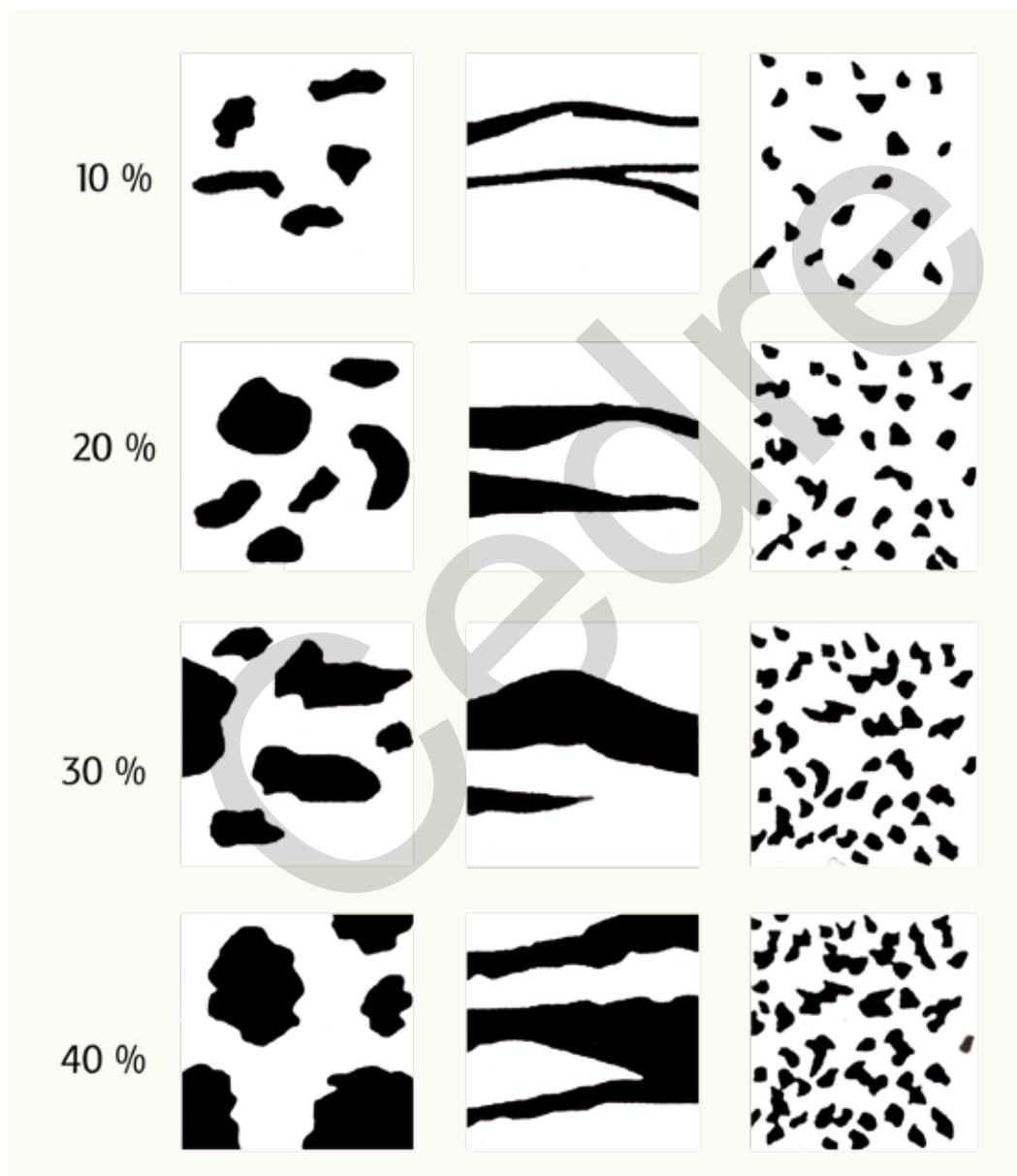
L'évaluation à partir d'observations aériennes ne peut fournir qu'un ordre de grandeur, les incertitudes sur les épaisseurs réelles pouvant conduire à des différences d'un facteur de 10 sur les volumes. Toutefois l'estimation minimale doit être considérée comme une donnée fiable pour la détermination de la quantité minimum qui a été effectivement déversée.

Pour en savoir +

On se reportera au guide rédigé par le Cedre :

Guide « Reconnaissance de sites pollués par des hydrocarbures »

Comment évaluer le taux de couverture ? *



Repère visuel (source : Owens E. H. and G. A. Sergy, 1994)

Voir code d'apparence (► B7).

* Ceci est une représentation graphique approximative.

Exemples d'autres produits

Divers produits chimiques et alimentaires peuvent donner des images susceptibles d'être confondues avec celles de nappes d'hydrocarbures. Il est utile de disposer d'images de référence pour éviter les erreurs d'interprétation.

Les huiles végétales et certains produits chimiques flottants ou évaporants sont détectés par les équipements de télédétection*.



Huile de palmiste émulsionnée sous forme de palets blancs (Accident de l'Allegra, Manche Ouest, octobre 1997)



Nappe de styrène observée par un avion de la Douane française (Accident du levoli Sun, Les Casquets, octobre 2000)



Nappe de mélasse



Expérimentation Palmor I : de gauche à droite : huile de soja, fioul, huile de palme



Rejet d'huile végétale

Les huiles végétales présentent une dérive comparable à celle des hydrocarbures, mais en général un étalement à la surface différent : un sillage d'hydrocarbure va s'étaler en « éventail » ou en « triangle » alors qu'une huile végétale s'étalera en « ruban »



POME (Palm Oil Mill Effluent) au large des côtes belges

© © RBINS/MUMM



Nappe de sargasses

© Douane française



Nappe de paraffine en Méditerranée

© Préfecture maritime de la Méditerranée



Nappe d'huile de palme

© Cedre

Fausses pollutions

Divers objets flottants ou phénomènes peuvent prêter à confusion et être pris pour des pollutions.

Des confusions ont été le fait :

- de l'ombre des nuages formant des taches plus sombres sur l'eau ;
- des courants de surface ou de rencontres d'eaux froides et chaudes qui, lorsque la mer est calme ou peu agitée, peuvent prendre sous faible incidence l'aspect de film (reflets / arc-en-ciel / métallique) ;
- d'eaux boueuses, à l'embouchure des fleuves, dans les baies ou plus généralement près du littoral, qui apparaissent nettement en beige par rapport à l'eau avoisinante (une eau colorée sans le moindre film - reflets / arc-en-ciel / métallique - en surface n'est pas une pollution par hydrocarbure) ;
- d'algues flottantes ou blooms phyto planctoniques*, qui peuvent apparaître sous forme de taches colorées ;
- de hauts fonds qui apparaissent sous forme de taches foncées ;
- de zones de calme ;
- d'œufs de poisson ;
- de pollen ;
- de dispersion larvaire de coraux.

Conseils pour lever le doute :

- Se rappeler que les différentes catégories du code d'apparence de l'Accord de Bonn* (notamment l'arc-en-ciel) apparaissent mieux lors d'une passe à la verticale ;
- de même, ne pas hésiter à observer le phénomène sous différents angles ;
- en hélicoptère, tenter de se rapprocher et de passer en vol stationnaire ;
- certains phénomènes sont saisonniers : présence de pollen en France métropolitaine essentiellement entre mars et septembre, par exemple, observation de blooms planctoniques* et développements algaux plutôt l'été,...
- plusieurs ouvrages (en langue anglaise) cités en bibliographie (manuel NOAA, atlas photo de l'Accord de Bonn*) présentent des vues de différents phénomènes.

En cas de doute, il est important de le signaler. Une observation par moyen nautique, voire une prise d'échantillon, pourront éventuellement être mises en œuvre.



© Cedre

Taches formées par l'ombre des nuages



© BMM, RBINS

Effet de surface dû à la rencontre de deux masses d'eau différentes



© Ocean and fisheries

Bloom algal



© JTOPF

Tourbe à la surface de l'eau



© Cedre

Algues à proximité du littoral. Paquets d'algues dérivant en mer (vue rapprochée)



© Douane française



© JTOPF

Eaux boueuses à proximité du littoral. Remise en suspension des fines (fond vaseux) par brassage des hélices



Exemples de taches dues à la présence de hauts fonds, d'algues ou de coraux...



Zones de calme pouvant être confondues avec un film fin d'hydrocarbures



Trainées colorées dues à un développement planctonique (observation effectuée à partir d'un hélicoptère en vol stationnaire : noter l'effet du souffle du rotor qui montre qu'il ne s'agit pas de pétrole en surface)

Bloom* planctonique

Modèles de documents

- Modèle normalisé de rapport de pollution (POLREP) _____ C1
- Compte-rendu inclus dans le plan d'urgence _____ C2
- Compte-rendu Accord de Bonn _____ C3

Cedre

Modèle normalisé de rapport de pollution (POLREP)

MESSAGE TYPE

Destinataire pour action : *CROSS*/MRCC* concerné.*

Destinataires pour information : *préfet maritime concerné (ou commandant de zone maritime outre-mer), Cedre...*

Mot-clé d'attribution : *POLREP*.*

A - Classification du compte rendu.

Douteux - probable - confirmé.

B - Date et heure de l'observation du compte rendu.

Identité de l'observateur ou du rédacteur du compte rendu.

C - Position et étendue de la pollution.

*Si possible latitude et longitude ou relèvement distance d'un point remarquable à terre/ évaluation estimée de la pollution : dimensions de la zone polluée, tonnage d'hydrocarbures déversés ou nombre de conteneurs, de fûts...
S'il y a lieu, donner la position de l'observateur par rapport à la pollution.*

D - Vitesse et direction du vent et du courant.

E - Conditions météorologiques et état de la mer.

F - Caractéristiques de la pollution.

Type de pollution : hydrocarbure (brut ou raffiné) - déversement de produits chimiques (emballés ou en vrac). Dans tous les cas, donner aussi l'apparence : liquide, éléments solides flottants, apparence huileuse, boue semi-liquide, taches goudronneuses, hydrocarbure dispersé, changement de coloration de l'eau, vapeur visible... Donner également toute marque distinctive des conteneurs ou des fûts.

G - Source et cause de la pollution.

Venant d'un navire ou d'une autre installation. Si l'origine est un navire : indiquer s'il s'agit d'un acte délibéré ou d'un accident. Dans ce dernier cas, en donner une brève description. Si possible, donner le nom, le type, la taille, la nationalité et le port d'attache du navire pollueur. Si ce navire est en route, donner sa route et sa vitesse.

H - Identification des navires dans le voisinage.

À fournir si le pollueur ne peut être identifié et si la pollution paraît récente.

I - Éléments de preuve de l'infraction relevée.

Photographies ou échantillons.

J - Actions entreprises ou envisagées.

K - Prévisions de développement de la pollution.

Par exemple, arrivée à la côte en donnant les heures estimées.

L - États et organisations informés.

M - Toute autre information jugée utile.

Exemple : nom des témoins.

Complément d'information

- Glossaire et sigles ————— D1
- Bibliographie et adresses Internet utiles ————— D2

Ceodre

Glossaire et sigles

Les sigles et abréviations marqués par • dans le texte sont explicités ci-dessous.

Accord de Bonn : l'Accord de Bonn (1969) est le mécanisme par lequel dix gouvernements, ainsi que l'Union européenne, coopèrent pour faire face à la pollution de la mer du Nord par les hydrocarbures et autres substances nocives

AESM : Agence Européenne de Sécurité maritime (en anglais, EMSA : *European maritime Safety Agency*)

AIS : *Automatic Identification System* = Système d'identification automatique des navires

AZTI : fondation basque espagnole ayant pour objectifs le développement social et économique dans plusieurs domaines de l'industrie alimentaire et de la pêche, ainsi que la protection de l'environnement marin et des ressources halieutiques

BAOAC : *Bonn Agreement Oil Appearance Code* (code d'apparence de l'Accord de Bonn)

Bloom planctonique : prolifération brutale de plancton

BSAA : Bâtiment de Soutien et d'Assistance Affrété

Biscaye : plan accord franco-espagnol, le Biscaye Plan est un document opérationnel qui prévoit les modalités d'une intervention conjointe entre la SASEMAR (*Sociedad de Salvamento Marítimo y Seguridad Marítima*) et la préfecture maritime de l'Atlantique, en cas d'opérations de sauvetage, de lutte contre la pollution et, désormais, d'assistance à un navire en difficulté dans le golfe de Gascogne

CleanSeaNet : service européen de détection satellite des nappes d'hydrocarbures et de navires

COV : le terme COV (composé organique volatil) recouvre une grande variété de substances chimiques ayant pour point commun d'être des composés du carbone et d'être volatils à température ambiante.

Comité de dérive : ce comité est composé de représentants de Météo-France, de l'IFREMER, du SHOM et du Cedre

CROSS : Centre Régional Opérationnel de Surveillance et de Sauvetage

cSt : unité de mesure de viscosité. 1 cSt (centistoke) = écoulement de 1 mm²/s

Densité : quotient de la masse volumique d'une substance et de la masse volumique de l'eau pour une substance liquide

Dispersant : produit destiné à faciliter la dispersion de produits pétroliers dans la colonne d'eau. Ces produits contiennent des tensio-actifs (ou matière active) et des solvants hydrocarbonés destinés à aider la diffusion des tensio-actifs dans le produit pétrolier

Dispersion naturelle : formation, sous l'action des vagues et de la turbulence à la surface de la mer, de gouttelettes d'hydrocarbure de tailles variées qui restent en suspension dans la colonne d'eau ou refont surface derrière la nappe pour reformer une autre nappe. En fonction de la viscosité du produit, et si la situation géographique et bathymétrique le permet, ce phénomène naturel peut être favorisé par l'utilisation de dispersants.

Drone : c'est un appareil sans pilote à bord. Il est généralement piloté à distance et peut être utilisé pour la détection et l'observation de pollutions

Émulsion inverse : ou « eau dans l'huile ». Celle-ci peut contenir une forte proportion d'eau (souvent 60 %, pouvant aller jusqu'à 80 %), de couleur brun à orange communément appelée « mousse au chocolat », dont elle a la consistance

Émulsification : processus de formation de l'émulsion inverse

EPI : Équipements de Protection Individuelle

Évaporation : transformation d'un liquide en vapeur par sa surface libre, à une température donnée. Concernant les hydrocarbures, le taux d'évaporation dépend en priorité de la proportion de produits volatils, du mélange d'hydrocarbures, mais aussi de facteurs tels que la vitesse du vent, la température de l'eau et de l'air, l'agitation de la surface de la mer et l'éta-

ment. Les fractions les plus légères s'évaporent en premier, les fractions les moins volatiles formant, elles, des résidus dont la densité et la viscosité sont plus élevées que celles des produits d'origine.

Explosimètre : appareil servant à mesurer la teneur en gaz inflammable d'une atmosphère.

FLIR : *Forward Looking Infra Red* = Capteur infrarouge utilisé pour la télédétection des nappes d'hydrocarbures. En conditions atmosphériques optimales, il peut détecter une nappe se situant à environ 20 nautiques de l'avion si celui-ci vole à une altitude de 3 500 pieds. Au mieux, il détecte les nappes dont l'épaisseur est au moins celle correspondant au code 2 de l'Accord de Bonn (arc-en-ciel), sans limite supérieure d'épaisseur. Il peut également être utilisé pour lire le nom d'un navire de nuit.

FOD : fioul domestique

HFO : *heavy Fuel Oil*

Hyperspectrale : l'imagerie hyperspectrale est une technologie permettant d'obtenir l'image d'une scène dans un grand nombre (généralement plus d'une centaine) de bandes spectrales à la fois étroites et contiguës. Elle permet en premier lieu de déterminer la composition chimique d'une surface photographiée et en fournit des indications sur la concentration de ceux-ci et les propriétés physiques

IFO : *Intermediate Fuel Oil*

Ifremer : institut français de recherche pour l'exploitation de la mer.

IMDG : *International Maritime Dangerous Goods Code*. C'est un guide international pour le transport des matières dangereuses en colis (y compris conteneurs et véhicules), destiné au transport maritime de marchandises

IR : infrarouge

LFS : *Laser Fluoro Sensor* = Senseur laser fluorescent

LSFO : *Low Sulphur Fuel Oil*

MARPOL : la Convention internationale pour la prévention de la pollution par les navires

Météo-France : établissement public français qui participe à assurer la sécurité maritime tant sur les côtes françaises que dans le cadre de mandats internationaux et dans le cadre de pollutions marines participe au Comité de Dérive

pour leur suivi à l'aide d'outils de modélisation (MOTHY)

MRCC : *Maritime Rescue Co-ordination Centre* = Centre de Coordination de Sauvetage Maritime

MOTHY : modèle Océanique de Transport d'HYdrocarbures, modèle de Météo France permettant la prévision de dérive de nappes d'hydrocarbures et d'objets en mer

Multispectrale : technique d'acquisition simultanée d'images d'une même scène dans plusieurs bandes spectrales contiguës ou non

NOx : oxydes d'azote, émissions atmosphériques produites par la combustion du carburant d'un navire et soumises à réglementation

ONERA : office national d'études et de recherches aérospatiales

Pied : unité de mesure de longueur qui équivaut à 12 pouces, ou 30,48 centimètres

Point d'ébullition : température à laquelle un liquide commence à bouillir ; plus précisément, lorsque la température à laquelle la pression de vapeur saturante d'un liquide est égale à la pression atmosphérique standard (1 013,25 hPa). Le point d'ébullition mesuré dépend de la pression atmosphérique

Point d'éclair : température la plus basse à laquelle la concentration de vapeurs émises est suffisante pour produire une déflagration au contact d'une flamme, d'une étincelle, d'un point chaud mais insuffisante pour produire la propagation de la combustion en l'absence de la « flamme pilote ». Par définition, un produit est extrêmement inflammable lorsque le point éclair est inférieur à 0 °C, facilement inflammable lorsqu'il est compris entre 0 et 21 °C et inflammable lorsqu'il est compris entre 21 et 55 °C

Point d'écoulement : température en dessous de laquelle un hydrocarbure ne s'écoule plus. Si la température ambiante est inférieure à son point d'écoulement, il est moins fluant. Le point d'écoulement est mesuré en laboratoire et ne reflète pas exactement le comportement d'un hydrocarbure en milieu ouvert

POLREP : *POLLution REPort* = rapport de pollution normalisé

Pression de vapeur : pression partielle des molécules de gaz en équilibre avec la phase liquide pour une température donnée

Radiomètre à micro-ondes (MWR) : *MicroWave*

Radiometer = Radiomètre à micro-ondes. Capteur utilisé pour la télédétection des nappes d'hydrocarbures, dont le principe de détection est assez proche de celui d'un scanner infrarouge. Il permet la détermination de l'épaisseur des nappes

Recoalescence : phénomène par lequel deux substances identiques, mais dispersées, ont tendance à se réunir.

RIAS : remorqueur d'Intervention, d'Assistance et de Sauvetage

SAR : *Synthetic Aperture Radar*

SASEMAR : *Sociedad de Salvamento y Seguridad Marítima* = Société de Sauvetage et de sécurité maritime. Organisme espagnol responsable des services de recherche et de sauvetage en mer, ainsi que de la lutte contre la pollution de l'État espagnol, dans sa zone de responsabilité dont la surface est d'environ 1 500 000 km². Depuis 2009 appelé *Salvamento Marítimo*

Sédimentation : processus dans lequel des particules de matière cessent progressivement de se déplacer et se réunissent en couches

SEBC : *Standard European Behaviour Classification*

SECA : *Sulphur Emission Control Area*

Seewping arms : matériel de lutte antipollution déployé à partir des navires et destiné aux opérations de confinement-récupération. L'outil se positionne perpendiculairement au navire et capte le polluant, aspiré par une pompe installée au creux du bras

SIG : Système d'Information Géographique

SHOM Service Hydrographique et Océanographique de la Marine. Il participe au Comité de Dérive

SLAR : *Side-Looking Airborne Radar* = radar latéral utilisé pour la détection des nappes d'hydrocarbures

SOx : Oxyde de soufre, émissions atmosphériques produite par la combustion du carburant d'un navire et soumises à réglementation

Teflon® : il permet l'analyse de traces d'hydrocarbures dans de bonnes conditions en facilitant les prélèvements et en évitant un éventuel relargage

TBNL : Très Bas Niveau de Lumière

Télédétection : ensemble de techniques consistant à détecter et à identifier des phénomènes à une certaine distance de l'objet en cause, ceci en faisant appel aux capacités de

l'homme ou à des détecteurs spéciaux. Dans le cas de l'observation aérienne des pollutions par hydrocarbures, la télédétection fait appel à plusieurs capteurs, dont le SLAR, le FLIR, les scanners infra-rouge et ultra-violet ainsi que le radiomètre à micro-ondes

Température d'auto-inflammation : température minimale à laquelle les vapeurs s'enflamment spontanément

ULSFO : *Ultra-Low Sulphur Fuel Oil*

Toximètre : appareil destiné à la détection (en continu) des gaz ou vapeurs toxiques ou oxygène

UV : Ultraviolet

Viscosité : propriété de résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière. Elle est exprimée en centistoke (cSt)

VLSFO : *Very Low Sulphur Fuel Oil*

Bibliographie et adresses Internet utiles

Accord de Bonn. Bonn Agreement Aerial Operations Handbook, 2022.
Disponible sur : <https://www.bonnagreement.org/publications>

Accord de Bonn. Bonn Agreement Aerial Operations Handbook. Part I - General Information - 2022 Update
Disponible sur : https://www.bonnagreement.org/site/assets/files/17600/aoh_i_general_information.pdf

Accord de Bonn. Aerial Operations Handbook Part II - Remote Sensing and Operational Guidelines - 2022 Update.
Disponible sur : https://www.bonnagreement.org/site/assets/files/17600/aoh_ii_remote_sensing.pdf

Accord de Bonn. Aerial Operations Handbook Part III - Guidelines for Oil Pollution Detection, Investigation and Post Flight Analysis/Evaluation for Volume Estimation - 2022 Update
Disponible sur : https://www.bonnagreement.org/site/assets/files/17600/aoh_part_iii_guidelines_detection_investigation_evaluation.pdf

Accord de Bonn. Aerial Operations Handbook Part IV - National Information - 2022 Update (3 MB)
Disponible sur : https://www.bonnagreement.org/site/assets/files/17600/aoh_part_iv_national_information.pdf

Accord de Bonn. Bonn Agreement Oil Appearance Code. Photo Atlas. Version 23/06/2011. 2011. 94 p.
Disponible sur : https://www.bonnagreement.org/site/assets/files/1081/photo_atlas_version_20112306-1.pdf

Accord de Bonn. Oil sampling in Volume 1 of the HELCOM Response Manual. 2014. 31 p.
Disponible sur : <https://portal.helcom.fi/meetings/RESPONSE%2018-2014-122/MeetingDocuments/10-2%20Oil%20sampling.pdf>

ALCARO L., BRANDT J., GIRAUD W., et al. Manuel d'intervention en cas de déversement en mer de HNS - Multirégional Accord de Bonn, HELCOM, REMPEC. Malte : WestMopoco, 2021. 342 p. Disponible sur : <https://www.westmopoco.rempec.org/fr/le-projet/objectifs-specifiques-et-activites-principales/manuel-hns>

AMSA. Identification of oil on water : aerial observation and identification guide. Braddon : Australian Maritime Safety Authority. 2014. 33 p.
Disponible sur : <https://www.amsa.gov.au/marine-environment/pollution-response/identification-oil-water-aerial-observation-and-identification>

Cedre, IPIECA. Observation aérienne des déversements d'hydrocarbures en mer. Guide de bonnes pratiques en matière de gestion des incidents et de personnel d'intervention d'urgence. Londres : International Petroleum Industry Environmental Conservation Association (IPIECA), 2016. 52 p.
Disponible sur : <https://www.ipieca.org/resources/good-practice/aerial-observation-of-oil-spills-at-sea/>

DE NANTEUIL E. Essais en mer Depol 07 sur déversement d'hydrocarbures (R.08.26.C). Brest : Cedre (Centre de documentation de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux), 2008. 20 p. +77 p. d'annexes

ITOPF (International Tanker Owners Pollution Federation Limited). Aerial observation of marine oil spills. Technical Information Paper 1.
Disponible sur : <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/tip-01-aerial-observation-of-marine-oil-spills/>

OMI. MARPOL édition récapitulative de 2017. Articles, protocoles, annexes et interprétations uniformes de la convention internationale de 1973 pour la prévention de la pollution par les navires, telle que modifiée par les protocoles de 1978 et 1997 comprenant tous les amendements en vigueur au 1er janvier 2017. Sixième édition. Londres : Organisation Maritime Internationale. 2017. 488 p.

OWENS E.H. Field guide for oil spill response in arctic waters : A program of the Arctic Council. Yellowknife : Emergency Prevention, Preparedness and Response Working Group (EPPR Working Group), 1998. 372 p.

NOAA. Dispersant application observer job aid. Seattle : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2007. 30 p.
Disponible sur : <https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/dispersant-application-observer-job-aid.pdf>

NOAA. Open Water Oil Identification Job Aid for aerial observation. With Standardized Oil Slick Appearance and Structure Nomenclature and Codes. Version 3, updated August 2016. Washington : National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), 2016. 51 p. Disponible sur : <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/open-water-oil-identification-job-aid.html>

Sites Internet

Accord de Bonn
Disponible sur : <http://www.bonnagreement.org>

EMSA (European Maritime Safety Agency). CleanSeaNet Service.
Disponible sur : <https://www.emsa.europa.eu/csn-menu.html>

Helsinki Commission. Aerial Surveillance.
Disponible sur : <https://helcom.fi/action-areas/response-to-spills/aerial-surveillance>

IMO (International Maritime Organization). Marine Environment.
Disponible sur : <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Default.aspx>

ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation limited). Aerial observation.
Disponible sur : <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/contingency-response-planning/aerial-observation/>

Le Cedre en bref

Depuis 40 ans, le Cedre est un expert internationalement reconnu dans le domaine des pollutions accidentelles des eaux. Son équipe constituée d'une cinquantaine de docteurs, ingénieurs et techniciens agit aux quatre coins du monde depuis sa base située à Brest en France.

Son caractère pluridisciplinaire lui permet de développer un large panel d'activités : intervention, formation, planification d'urgence, analyses et recherche. Le Cedre est également un centre de ressources documentaires reconnu.



Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux
715 rue Alain Colas, CS 41836, F 29218 BREST CEDEX 2
Tél. +33 (0)2 98 33 10 10 - Fax +33 (0)2 98 44 91 38
www.cedre.fr

Dans la même collection

Guides opérationnels :

- Absorbants (2020), 65 pages.
- Autorités locales (2012), 78 pages.
- Barrages « à façon » (2012), 88 pages.
- Barrages manufacturés (2012), 95 pages.
 - Bénévoles (2012), 52 pages.
- Conteneurs et colis (2011), 73 pages.
 - Dispersants (2016), 59 pages.
- Gestion des déchets (2022), 114 pages.
 - Huiles végétales (2004), 35 pages.
 - Mangroves (2016), 93 pages.
- Nettoyage du littoral pollué (2022), 150 pages.
 - Observation aérienne (2023), 78 pages.
- Pollutions accidentelles des eaux par des substances nocives et potentiellement dangereuses (2017), 158 pages.
 - Pollutions portuaires (2018), 112 pages.
- Professionnels de la mer (2012), 100 pages.
 - Reconnaissance (2006), 41 pages.
 - Récupérateurs (2015), 93 pages.
- Soins à la faune sauvage (2017), 127 pages.