

DOSSIER

Le risque chimique en mer



Suivez-nous sur

www.cedre.fr



DOSSIER

Le risque
chimique
en mer

ÉTUDES

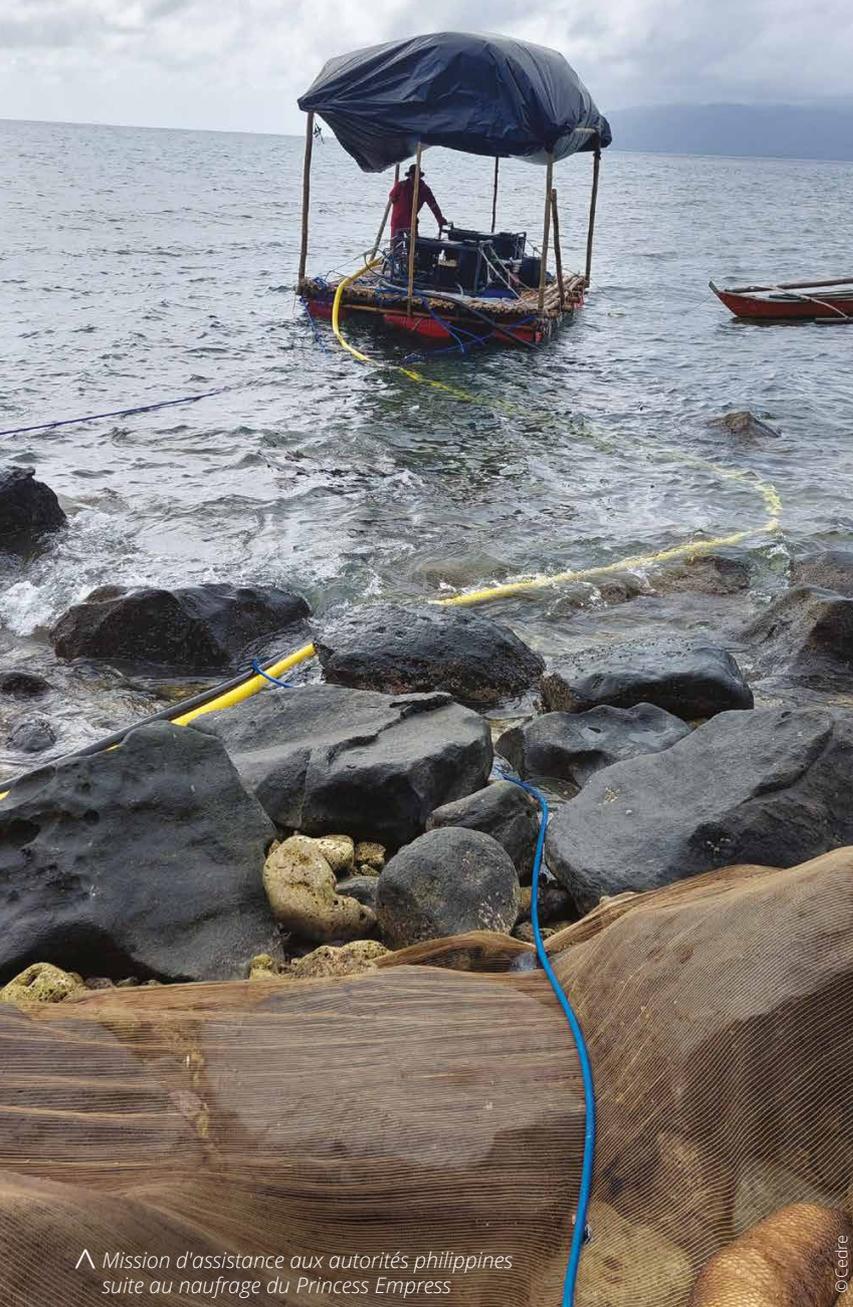
- Les irisations
- Les essais sur la Loire

ACTU Cedre

28^e Journée d'Information
du Cedre

Sommaire

Édito	01
Mission d'assistance aux autorités philippines suite au naufrage du Princess Empress	02
Dossier : Le risque chimique en mer	04
Développement des connaissances sur les irisations	14
Essais de matériels de lutte antipollution sur la Loire	16
Déterminer l'état de santé des écosystèmes estuariens	18
Partenariat	22
Formation	26
Information	28



^ Mission d'assistance aux autorités philippines suite au naufrage du Princess Empress

© Cedre

n°46

MAI 2024
Publication semestrielle du Cedre
715, rue Alain Colas
CS 41836 - 29218 BREST Cedex 2
Tél. + 33 (0)2 98 33 10 10
www.cedre.fr

**ABONNEMENT
GRATUIT**
sur demande à
contact@cedre.fr

Directeur de la publication : Nicolas Tamic
Rédacteur en chef : Anne Ily
Mise en page & Infographies : Camille Laot
Iconographie : Natalie Padey

ISSN : 1247-603X
Dépôt légal : Mai 2024
Photo de couverture :

essais en mer
© Cedre
Téléchargeable sur www.cedre.fr



Le Bulletin est imprimé sur du papier provenant de forêts gérées de façon durable et l'imprimeur est certifié Imprim'Vert.

Cedre

Centre de documentation,
de recherche et d'expérimentations
sur les pollutions accidentelles des eaux

715, rue Alain Colas - CS 41836 - 29218 BREST Cedex 2 - FRANCE
Tél.: +33 (0)2 98 33 10 10
contact@cedre.fr - www.cedre.fr



^ Le Cedre basé au port de Brest

© Cedre



ÉDITO

L'Organisation Maritime Internationale, institution spécialisée des Nations unies chargée notamment de la sécurité et de la sûreté du transport maritime et de la prévention de la pollution, définit les substances nocives et potentiellement dangereuses (SNPD) comme les substances susceptibles de constituer un danger pour la santé humaine et pour l'environnement ou de provoquer des dommages économiques et matériels.

Ces substances représentent un défi particulier en raison de leur nombre et de leur grande diversité. Cette variété entraîne une grande incertitude sur les modalités d'intervention lors d'une pollution maritime par ces substances et nécessite de disposer d'informations sur le comportement et le devenir des produits afin de protéger les marins, les intervenants et les populations et d'évaluer l'impact environnemental en cas d'incident.

Bien que moins médiatisés que les pollutions par hydrocarbures, les accidents et incidents maritimes, impliquant des SNPD sont réguliers, naufrages ou déversements accidentels. Les accidents récents, comme la perte d'un camion-citerne transportant de l'acide sulfurique dans le Golfe de Gênes en décembre dernier, ou le naufrage du *Rubymar* transportant plusieurs milliers de tonnes d'engrais chimiques dans le détroit de Bab-El-Mandeb, suite à une attaque par les Houthis, illustrent cette réalité. Les nombreuses demandes des préfectures maritimes dans le cadre d'opérations d'assistance à navires en difficulté démontrent

quant à elles, le besoin d'informations afin de permettre les interventions à bord et de prendre en compte le navire assisté sans mettre en danger les personnes.

La prévention et la lutte contre les pollutions accidentelles des eaux est une action interministérielle coordonnée par le Secrétariat général de la mer, sous l'autorité du Premier ministre. Dans ce cadre, la Marine nationale est notamment chargée de la lutte en mer. Ces missions exposant les équipages et les équipes d'évaluation et d'intervention au risque chimique en mer, l'engagement doit toujours être réalisé en connaissance de cause.

L'activité recherche du Cedre se développe également à travers de nombreux projets sur le risque chimique en mer, dont un grand nombre est financé par la Direction générale pour la protection civile et les opérations d'aide humanitaire de la Commission européenne.

Alors que la France vient de ratifier la Convention SNPD de 2010 sur l'indemnisation des dommages et pertes économiques liés aux pollutions chimiques et que les objectifs de décarbonation du transport maritime fixés par l'Organisation Maritime Internationale vont généraliser l'emploi de nouvelles énergies de propulsion (méthanol, ammoniac...), le développement de la connaissance sur le risque chimique en mer est plus que jamais fondamental.

Je vous souhaite une très bonne lecture.

Didier Lallement,
Secrétaire général de la mer



Mission d'assistance aux autorités philippines suite au naufrage du *Princess Empress*

^ Confinement et récupération en mer

Par **Mikaël Laurent**, ingénieur au service Analyse et Moyens, Cedre.

Le 28 février 2023, alors qu'il faisait route de Bataan à Iloilo (Philippines) par des conditions de mer agitées, le pétrolier caboteur *Princess Empress*, appartenant à la compagnie *RDC Reield Marine Services* et contenant 800 tonnes d'*Intermediate Fuel Oil* déclare une avarie moteur suivie d'une voie d'eau.



^ Déploiement d'un récupérateur

Le *Princess Empress* coule finalement à environ 7,5 miles marins de Baligawan Point (Mindoro Oriental) par une profondeur d'environ 400 mètres. Les 20 membres d'équipage, pris en charge par le cargo *Efes* se trouvant à proximité, sont sains et saufs.

Le jour même, des nappes d'hydrocarbures sont observées à la surface de la mer par les gardes-côtes philippins qui mobilisent des moyens aériens et nautiques pour effectuer des reconnaissances et prélever des échantillons.

La compagnie maritime *RDC Reield Marine Services*, propriétaire du *Princess Empress*, mandate la société maritime locale *Malayan Towage and Salvage Corp* (SALVTUG, ou MTSC) pour effectuer des opérations de récupération en mer (confinement et récupération) et d'épandage de dispersant sous la supervision des gardes-côtes philippins.

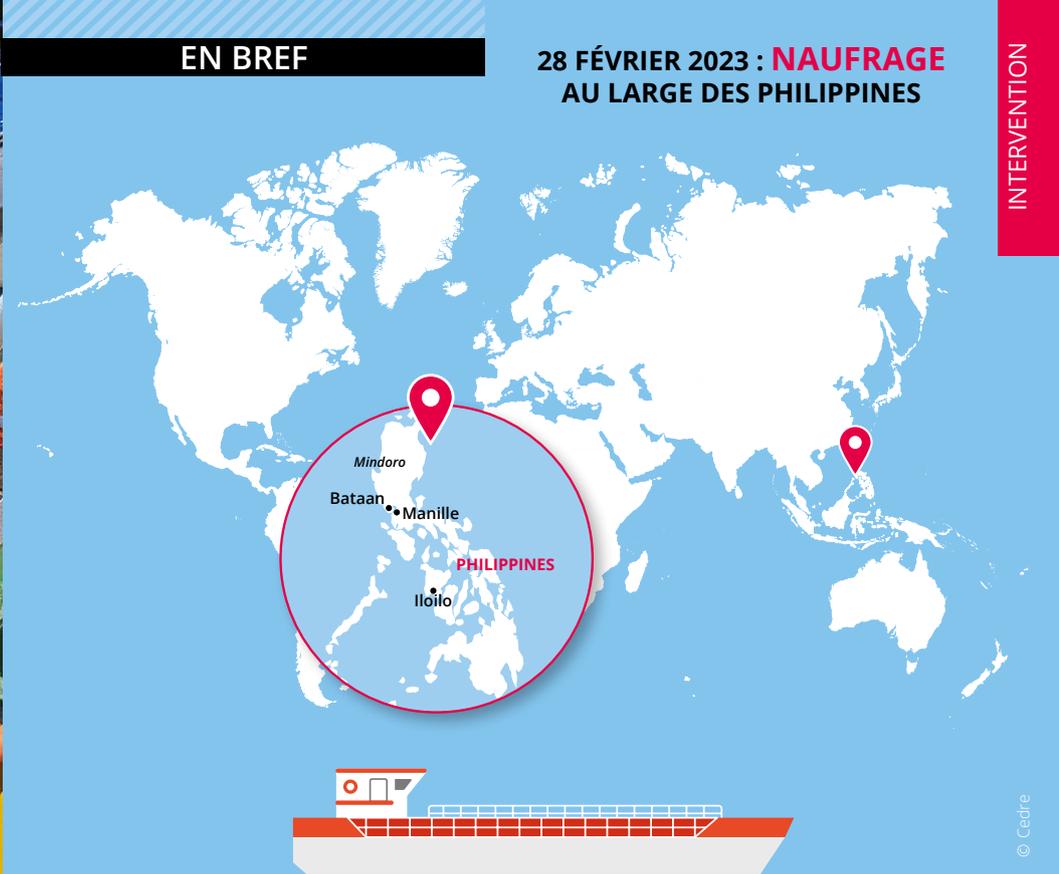
Au fil des jours, l'épave du *Princess Express* laisse peu à peu échapper sa cargaison, polluant d'abord une partie du littoral du Mindoro

Oriental avant d'impacter l'île de Semirara qui se trouve plus au sud et même Palawan, située à plus de 300 km au sud-ouest.

Le déversement se faisant de manière continue avec un faible débit de fuite, les arrivages de polluant se poursuivent ainsi pendant plusieurs semaines et dérivent tantôt vers le sud, tantôt vers le nord-nord-ouest, en fonction des vents dominants et des courants.

À la demande de l'ambassade de France à Manille et sur financement d'Expertise France, le Cedre a envoyé un expert sur site du 16 au 29 mars 2023, afin de porter assistance aux autorités en charge de la lutte contre la pollution.

L'intégration de cet expert sur le terrain au sein d'une équipe des gardes-côtes philippins a permis de suivre une grande partie des opérations de lutte en cours, tant en mer que sur le littoral. Cela a également été l'occasion d'apprécier la forte implication de tous les acteurs, tant au niveau national que local, dans la gestion de cette crise.

Pétrolier caboteur *Princess Express* • RDC Reield Marine Services

En mer, l'expert du Cedre a notamment aidé au positionnement des deux remorqueurs impliqués dans les opérations de collecte du polluant, en conseillant de les placer de manière décalée l'un par rapport à l'autre afin qu'ils travaillent en J et non en U. Cela a permis d'optimiser la collecte en récupérant le pétrole en continu plutôt que de manière séquentielle.

Sur le littoral pollué, il a également participé avec les gardes-côtes philippins à de nombreuses reconnaissances et conseillé certaines techniques de nettoyage déjà éprouvées en France, telle que l'utilisation de la bétonnière pour nettoyer les galets pollués.

Le laboratoire du Cedre, spécialisé dans l'analyse des polluants, a également apporté son soutien au MEPCOM, division des gardes-côtes philippins en charge de la protection du milieu marin, en analysant plusieurs échantillons collectés sur le littoral pollué pour les comparer avec l'hydrocarbure issu des cuves du *Princess Express*. Une étude du potentiel de biodégradabilité du polluant a également été menée.

Enfin, l'ensemble des observations faites sur le terrain durant cette mission internationale, va permettre au Cedre de continuer à enrichir sa connaissance et sa capacité de conseil lors de ce type d'événements. ■



^ Chantier de nettoyage à terre

Les essais expérimentaux en soutien à l'intervention

Par **Stéphane Le Floch**, chef du service Recherche, Cedre.

Depuis l'été 2023, la France a ratifié la convention qui traite de la responsabilité et de l'indemnisation des dommages liés au transport maritime des substances nocives et potentiellement dangereuses (SNPD), dénommée Convention SNPD ou Convention HNS (Hazardous Noxious substances), à appréhender le devenir et l'impact potentiel de ces substances dans l'environnement marin en cas de déversement accidentel.

À ceci, s'ajoute une actualité forte sur les nouvelles énergies de propulsion. En effet, l'Organisation Maritime Internationale dans sa politique de décarbonation du transport maritime a défini un objectif de réduction des émissions de gaz à effet de serre de 40% à l'orée 2030. Cette décision a pour conséquence immédiate la considération de nouveaux types de carburants comme l'ammoniac cryogénique (-30 °C) et le méthanol dont leur devenir dans l'environnement marin en cas de déversement accidentel est inconnu.

Ce contexte conforte le Cedre dans sa politique de lutte contre les déversements de SNPD en mer, initiée au début des années 2000 avec le soutien de la Marine nationale française. Elle inclut notamment sa stratégie de recherche qui s'articule autour d'une méthodologie visant à caractériser le devenir des produits chimiques et pétroliers dans l'environnement marin via des tests à trois échelles : au laboratoire, à l'échelle pilote et en mer.

Au laboratoire, le travail consiste, entre autres, à caractériser la dissolution des produits chimiques en milieu marin en fonction de la salinité et température de l'eau de mer. Cette information est très difficile, voire impossible, à

trouver dans la littérature qu'elle soit technique (fiche de données de sécurité) ou scientifique car bien souvent uniquement évaluée en eau douce et à la température du laboratoire (20 °C). Or, elle est primordiale puisqu'elle permet d'évaluer la capacité des produits à passer dans la colonne d'eau et à s'y diffuser.

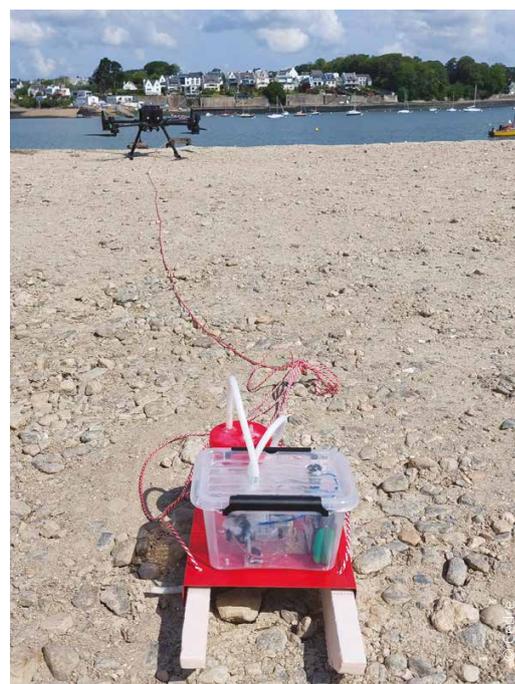
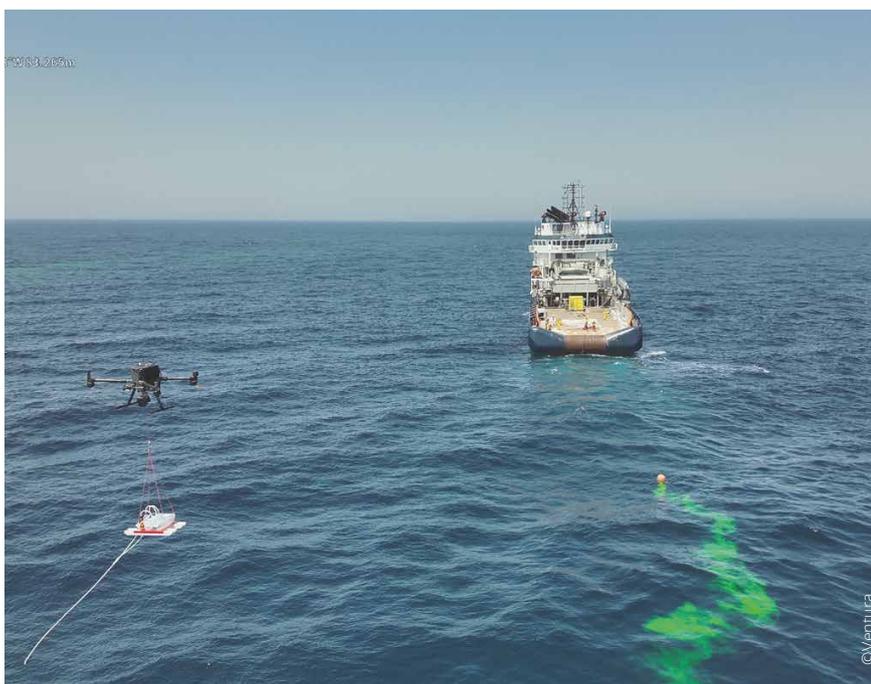


^ Banc chimie du Cedre

À l'échelle pilote, le Cedre a développé des outils uniques permettant, par exemple, d'étudier la quantité de produit se solubilisant dans la colonne d'eau depuis une épave coulée, et ceci, par mètre de remontée. À ce jour, cet outil, appelé Colonne d'Expérimentations du Cedre (CEC), a permis de quantifier les volumes perdus et les vitesses de remontée de 65 produits chimiques. En termes de conclusions opérationnelles, il est apparu que des produits ayant une solubilité non négligeable pouvaient former contre toute attente une nappe à la surface de l'eau. De façon non exhaustive, le Cedre dispose également d'une colonne à contre-courant pour l'étude du devenir des produits remontant par grand fond et d'un banc chimie qui permet, quant à lui, l'étude de la distribution d'un produit flottant entre la colonne d'eau et l'atmosphère. Grâce à lui, il a notamment été possible de démontrer



^ Colonne à contre-courant du Cedre



▲ Essais en mer de drones dans le cadre du projet C.NEST

que le méthanol, produit totalement soluble, passait en phase aqueuse et formait une nappe en subsurface qui pouvait s'évaporer pour créer un nuage toxique, voir inflammable. L'objectif principal de ces outils est de permettre l'étude du devenir d'un produit déversé accidentellement en mer d'une façon intégrée, c'est-à-dire en simulant concomitamment les différents processus de vieillissement (dissolution, évaporation, sédimentation...), et ceci, pour des conditions environnementales contrôlées. Il est alors possible d'affiner l'analyse des risques inhérents à un accident donné et, ainsi, alerter les opérationnels en charge de la lutte sur les spécificités de l'événement.

La dernière échelle, certainement la plus importante, est celle des essais en mer. Le Cedre, en accord avec la Marine nationale et le soutien logistique du CEPPOL, organise depuis une quarantaine d'années des essais en mer qui ont pour objectifs soit de tester des équipements de lutte (barrages, récupérateurs, rampes à dispersant...) ou de détection (caméras, détecteurs...), soit d'évaluer les performances de produits de lutte comme les dispersants, ou encore, de valider en conditions naturelles le devenir des produits qui ont été au préalable caractérisés au laboratoire et à l'échelle pilote. La

finalité de ces essais est d'optimiser les stratégies d'intervention en tenant compte de la chimie du produit déversé (pétrole, HNS ou déchets plastiques) et, des matériels et équipements de lutte disponibles ou nouvellement développés comme les drones. Ces opérations s'inscrivent dans le cadre réglementaire de la convention MARPOL (voir encadré).

Le projet C.NEST (2023) a ainsi été l'occasion de vérifier qu'un déversement majeur de méthanol en mer pouvait entraîner la formation d'un nuage toxique. Ces essais offrent également l'opportunité d'impliquer nos collègues des parties contractantes aux accords régionaux (notamment l'Accord de Bonn). Ainsi, le Royaume Uni, l'Espagne et la Belgique ont bénéficié de cet essai pour valider leurs dispositifs embarqués (à bord de navires et d'aéronefs) pour la détection des polluants en mer. L'Agence Européenne de Sécurité Maritime (EMSA) a également fourni des images satellitaires (radar) montrant la dérive d'une nappe en conditions réelles. En conclusion, ces essais sont cruciaux afin d'améliorer les outils d'aide à la décision indispensables à la définition des stratégies de lutte et au dimensionnement des équipements à déployer. ■

Convention MARPOL et essais en mer

MARPOL (acronyme de l'anglais MARine POLLution) désigne la convention internationale pour la prévention de la pollution marine par les navires, adoptée par l'OMI (Organisation Maritime Internationale) en 1973. Modifiée par les Protocoles de 1978 et 1997 et actualisée par le biais de divers amendements, la Convention MARPOL couvre la pollution par les hydrocarbures, la pollution par les substances liquides nocives transportées en vrac, la pollution par les substances nuisibles transportées par mer en colis, les eaux usées des navires, les ordures et la prévention de la pollution de l'atmosphère par les navires.

L'article 2, alinéa 3, de la Convention MARPOL rappelle que le terme "rejet" n'inclut pas le rejet de substances nocives à des fins de recherche scientifique légitime sur la réduction ou le contrôle de la pollution. Les essais en mer sont donc effectués dans le respect des réglementations internationales en vigueur.

Présentation du CEPPOL

Entretien avec Gauthier DUPIRE, capitaine de vaisseau et directeur du CEPPOL et François, capitaine de corvette et directeur adjoint du CEPPOL

Par Anne Ily, cheffe du service Information et Communication, Cedre.



^ François, directeur adjoint du CEPPOL et Gauthier Dupire, directeur du CEPPOL

Pouvez-vous présenter le CEPPOL ?

Gauthier DUPIRE (G.D) : Il faut remonter à 1972 où un arrêté du Premier ministre confie aux armées la lutte contre les pollutions aux hydrocarbures en haute mer. Sept ans plus tard, après la catastrophe de l'*Amoco Cadiz*, le CEPPOL voit le jour. Basés historiquement dans la base navale de Brest, nous travaillons au profit des préfets maritimes et sommes le centre d'expertise antipollution pour toutes les façades de métropole et d'Outre-mer.

François (F.) : En effet, nous sommes le centre référent pour toutes les cellules antipollution de la Marine nationale. Notre équipe composée

d'une dizaine de personnes œuvre au quotidien dans trois domaines de compétences : l'assistance aux navires en difficulté, la lutte antipollution et le sauvetage des personnes en mer.

Quels sont vos liens avec le Cedre ?

G.D : Nous sommes tous les deux les héritiers de l'*Amoco*. Cela crée naturellement des liens ! Concrètement, le Cedre apporte son expertise scientifique et ses connaissances et le CEPPOL ses compétences techniques, opérationnelles et dispose de moyens conséquents de la Marine nationale. Nous sommes très complémentaires.

Pouvez-vous expliquer plus en détail les collaborations entre le CEPPOL et le Cedre ?

G.D : Sur le volet formation par exemple, nous avons une étroite relation avec le Cedre. Notre rôle au CEPPOL est de définir les besoins en formation antipollution de la Marine nationale et des autres administrations qui interviennent dans le cadre de la lutte antipollution. Nous transmettons ensuite ce cahier des charges au Cedre, pour s'appuyer sur leur expertise scientifique et technique. La vraie plus-value des formations au Cedre est la co-construction du stage pour coller au plus proche aux besoins de la Marine (par exemple le stage d'observation aérienne pour l'aéronavale et les douanes).

F. : Le CEPPOL participe aussi en tant qu'intervenant à certaines formations du Cedre pour rendre les exercices plus réalistes. J'ai en tête la participation de notre équipe à un exercice de mise en situation mettant en scène un accident pétrolier en haute mer.

G.D : Il nous arrive aussi d'avoir des besoins plus spécifiques. Par exemple, la création d'un jeu de plateau à intégrer lors d'un stage ou la réalisation d'un tuto vidéo sur « comment bien faire des prélèvements d'hydrocarbures » à destination de toutes les unités de la Marine nationale. Là encore, notre proximité et complémentarité avec le Cedre facilitent leur mise en place.

F. : Sur le volet matériel, notre rôle est de définir les besoins en quantitatif pour l'ensemble des façades maritimes. On définit la liste nécessaire en cas d'intervention. On rédige en fonction du marché, les clauses techniques et nous sollicitons le Cedre sur l'évaluation des nouveaux équipements. C'est important pour nous d'avoir un conseil neutre, sans partie pris sur les équipements récents moins connus.



^ Récupération d'hydrocarbures en mer

G.D : Dernièrement, nous avons lancé une étude auprès du Cedre sur la résistance des équipements des plongeurs démineurs pour les interventions en milieu chimique. Le Cedre a les compétences et les installations pour nous éclairer sur ces sujets techniques. De notre côté, nous fournissons des prestations en nature importantes et non négligeables pour pousser plus rapidement les projets. L'innovation de la Marine nationale profite aussi au Cedre pour avancer dans ces domaines. C'est une relation gagnant-gagnant.

Et sur le volet intervention ?

F : Le CEPPOL a en charge la validation de la qualification opérationnelle des différents états-majors. Pour cela, notre équipe participe à des exercices ORSEC avec les façades en métropole et en Outre-mer, où le Cedre joue un rôle essentiel, du montage du scénario jusqu'à sa réalisation. Il apporte aussi ses compétences dans le comité de dérive.

Pouvez-vous nous parler des essais en mer ?

G.D : L'intervention sur une pollution nécessite de connaître le devenir du polluant en mer, à savoir, que devient-il, comment réagit-il, où va-t-il aller ? La réponse à ces questions va permettre de définir les stratégies de lutte à mettre en place. Dans ce cadre, nous organisons des essais en mer afin de valider le devenir théorique des polluants, qui est initialement déterminé au laboratoire. Ces essais permettent également de tester nos capteurs embarqués, voire d'évaluer le potentiel de nouvelles techniques de détection et de valider les outils de modélisation actuellement utilisés pour gérer une crise. Ces travaux permettent, entre autres, d'alimenter nos Fiches d'Intervention d'Urgence Chimique en Mer (FIUCM) qui sont rédigées à destination des équipes d'intervention.

Quels sont les prochains enjeux ?

G.D : Aujourd'hui, on pense surtout à demain et aux nouveaux risques en mer. À quoi serons-nous confrontés dans les prochaines années ? C'est une question à laquelle on souhaite répondre avec un coup d'avance. C'est pourquoi, on travaille en synergie avec le Cedre. La pollution chimique est une menace bien identifiée par la Marine. De son côté, le Cedre a aussi bien conscience de ces nouveaux enjeux et mène des études. Pour pousser ses expérimentations, il peut compter sur les moyens de la Marine nationale et du CEPPOL. C'est une boucle vertueuse qui permet d'avancer intelligemment et efficacement.

F : Demain, c'est aussi les enjeux liés à l'intervention sur des champs éoliens offshore ou le risque des nouvelles énergies de propulsion comme le méthanol sur lequel nous avons déjà travaillé, mais d'autres nouveaux carburants sont à l'étude. ■



^ Coordination par le CEPPOL des moyens engagés sur le naufrage du Grande America

Les essais en mer : une étape importante dans le développement et la validation des modèles de dérive et de comportement des pollutions en mer

Par Sébastien Legrand et Ludovic Lepers, Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique.

Utilisés depuis de nombreuses années par les autorités maritimes, les modèles de dérives des pollutions marines comme OSERIT, MOTHY, MOHID, OpenDrift, GNOME, OILMAP/CHEMMAP ou MEDSLICK simulent le devenir de produits pétroliers bruts et raffinés, de fiouls, voire pour certains de produits chimiques liquides ou gazeux déversés en mer. Ces modèles contribuent ainsi à l'évaluation des risques posés en cas de pollutions maritimes et guident les décideurs dans le choix de la stratégie de lutte antipollution la plus efficace.

Mais saviez-vous que chaque modèle est le fruit d'une longue collaboration pluridisciplinaire qui implique des mesures en laboratoire, des tests réalisés à petite échelle et des essais en mer ? Pour illustrer ce propos, nous expliquons ci-dessous différentes étapes clés dans le développement, la calibration et la validation du module "HNS" d'OSERIT développé dans le cadre des projets européens MANIFESTS et MANIFESTS-Genius (cf. Bulletin du Cedre n°42, 44).

Etape 1 : Définition des objectifs du modèle et identification des processus physico-chimique dominants

L'objectif général du module "HNS" d'OSERIT est de fournir des informations sur la dérive et le devenir en mer d'une ou plusieurs substances chimiques durant les premières heures voire les premiers jours suivant leur rejet en mer. Bien que le module se veuille générique, les développements réalisés

dans le cadre des projets MANIFESTS portent principalement sur les substances gazeuses comme le méthane et les substances liquides dites "évaporateur-dissolveur" (par exemple le méthanol ou l'ammoniac aqueux) qui peuvent être transportés et/ou manipulés à température ambiante. Outre la dérive, le modèle doit pouvoir prédire des informations sur la persistance du polluant en surface, l'évolution temporelle des concentrations aussi bien dans la colonne d'eau que dans l'atmosphère ainsi que les temps d'exposition au-dessus de certains seuils de toxicité prédéfini.

Etape 2 : Identification des processus physico-chimiques dominants et de leurs paramétrisations

Faisant l'hypothèse simplificatrice que les substances HNS ne réagissent pas chimiquement les unes avec les autres, le modèle doit pouvoir simuler l'évaporation, la dissolution, la volatilisation, la dégradation (biodégradation et photo-oxydation) et le cas échéant l'émulsification. Le modèle doit aussi pouvoir simuler l'advection et l'étalement du polluant à la surface de la mer (sous forme de nappes) ainsi que l'advection-diffusion-dilution du polluant dans la colonne d'eau (sous forme de bulles, gouttelettes, ou en phase dissoute), ou encore l'advection-diffusion-dilution du polluant dans les basses couches de l'atmosphère (sous forme d'un nuage toxique).

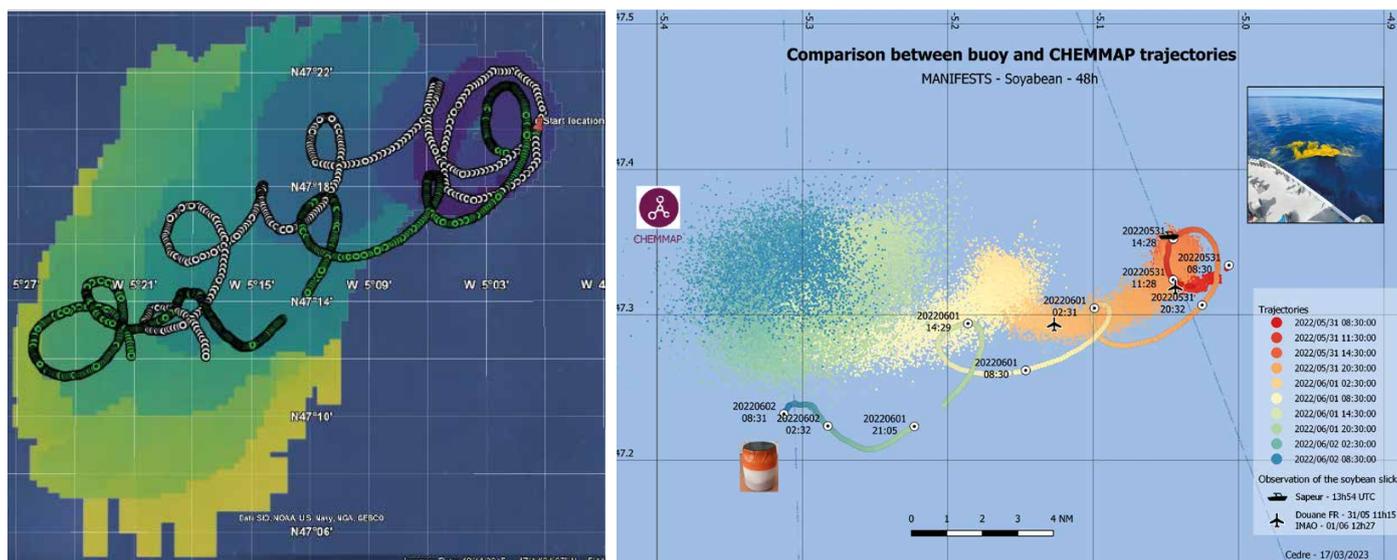
L'effet de chaque processus physico-chimique peut être décrit à l'aide d'une loi empirique, aussi appelée "paramétrisation" dans le jargon des modélisateurs. Ces dernières sont exprimées

autant que possible en fonction des propriétés physico-chimiques de la substance considérée (densité, viscosité, solubilité, pression de vapeur saturante, constante d'Henry, etc.), de la phase du polluant (surface et épaisseur de la nappe, taille des gouttelettes liquides ou des bulles de gaz, concentration de la phase dissoute, etc.) ou des conditions environnementales (température de l'air, de l'eau, vents, vagues, courants, salinité, etc.).

Ces paramétrisations ont souvent été calibrées à partir de mesures réalisées à petite échelle en laboratoire, pour un nombre limité de substances et/ou un nombre restreint de conditions environnementales. Afin d'améliorer nos modèles, il est souhaitable de poursuivre et consolider ce travail expérimental.

Etape 3 : Mise en œuvre du modèle

Cette étape consiste à écrire un logiciel de calcul qui met en œuvre les processus physico-chimiques afin de pouvoir prédire l'évolution temporelle de la dérive et le comportement en mer du polluant dans diverses conditions environnementales différentes. En plus de l'architecture générale du code, de nombreux choix de modélisation sont ici posés comme la sélection des paramétrisations, l'ordre dans lequel elles sont calculées, le pas de temps avec lequel elles sont calculées, etc. Tous ces choix sont entre autres guidés par l'objectif général du modèle et la compréhension -souvent intuitive- de la dynamique de la pollution en mer que possède le modélisateur.



▲ Comparaison de la dérive d'une bouée dérivante larguée en mer pendant les essais et les simulations d'OSERIT (image de gauche, 72h) et de CHEMMAP (image de droite, 48h) d'une nappe d'huile de soja. La trajectoire de la bouée dérivante est représentée par l'arabesque verte sur l'image de gauche et par l'arabesque colorée sur l'image de droite. La modélisation du déplacement de la pollution est représentée par le panaché de points colorés.

Etape 4 : Calibration et validation du modèle

Avant de pouvoir être utilisé dans des cas réels, le logiciel de calcul développé dans l'étape précédente doit être calibré et/ou validé sur le plus grand nombre possible de cas tests. Trois grandes catégories de cas tests sont généralement envisagés : les pollutions historiques, les expériences à petites échelles et les essais en mer. Chaque catégorie a ses avantages et limites.

Les pollutions historiques ont l'avantage indéniable d'être des cas réels. Toutefois, les informations provenant des "sitreps", c'est-à-dire les rapports de situation et de l'imagerie aérienne et satellitaire sont généralement sporadiques. Elles permettent au mieux une validation qualitative du modèle sur l'évènement.

Les expériences à petites échelles ont l'avantage d'être réalisées dans un environnement contrôlé par le scientifique. Par leur conception, elles permettent de valider des aspects précis. Par exemple, les expériences à petites échelles réalisées par le Cedre dans le cadre du projet MANIFESTS ont permis de valider la manière dont OSERIT simule la compétition entre

l'évaporation, la dissolution et la volatilisation - du moins à l'échelle d'une boîte de Pétri.

Finalement, les essais en mer, réalisés entre autres par le CEPPOL et le Cedre, permettent de mieux comprendre le comportement en mer d'une gamme de plus en plus étendue de produits chimiques. De manière générale, les connaissances acquises lors de chaque campagne d'essais nous permettent de remettre en question des choix de modélisation que nous avons effectués lors du développement du modèle. Ces dernières années, l'objectif principal des essais en mer était de tester les appareils de détection des produits chimiques en surface et dans l'air. Ces observations ont permis de valider la manière dont notre modèle simule la dérive, l'étalement et la persistance des nappes de produits chimiques. Dans un avenir proche, les essais en mer mesureront aussi l'évolution de la concentration d'un produit chimique dans l'air et la colonne d'eau de sorte que l'ensemble des processus pourront être validés. Ces derniers jouent donc bel et bien un rôle déterminant dans le développement et la validation des modèles simulant le devenir en mer des produits chimiques. ■



▲ Préparation de bouées sur le pont d'un navire

Évaluation des moyens de télédétection comme support à la gestion d'évènements de pollutions et d'accidents chimiques en mer

Par Pierre-Yves Foucher, Onera.

L'Office National d'Etudes et de Recherches Aérospatiales (ONERA) est impliqué depuis de nombreuses années dans des activités de recherche et de développement sur la thématique de la télédétection directe et indirecte de l'activité anthropique en particulier pour la gestion de crise.

Les moyens de télédétection développés et/ou disponibles à l'Onera tant d'un point de vue optique que radar ont ainsi pu être testés et évalués au profit de la surveillance des pollutions maritimes dans le cadre de différents projets de recherches et de partenariats industriels depuis 2013, en particulier en collaboration avec le Cedre. Lors de ces différents projets, les essais en mer en conditions opérationnelles ont permis de fournir des informations complémentaires et cruciales quant au potentiel de détection et de caractérisation des pollutions chimiques en mer vis-à-vis des modèles théoriques et des essais réalisés en bassin à petite échelle. Dans le domaine radar, différents concepts d'imagerie SAR (Synthetic Aperture Radar) multi-fréquences et multi-polarisations ont ainsi pu être testés en observation aéroportée (Moyens SETHI). Dans le domaine optique, l'imagerie spectrale passive du domaine visible au domaine infrarouge thermique a pu être déployée dans différentes configurations opérationnelles : observations aéroportées et observations depuis les navires d'intervention.

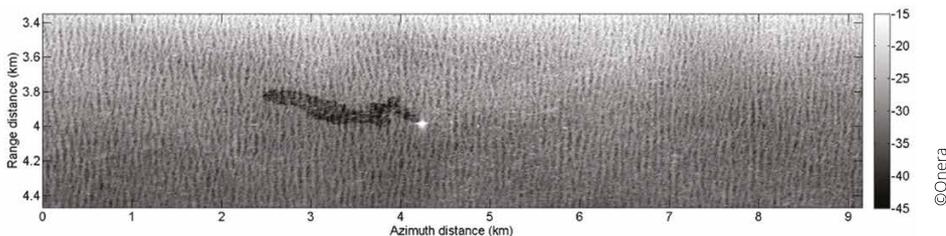
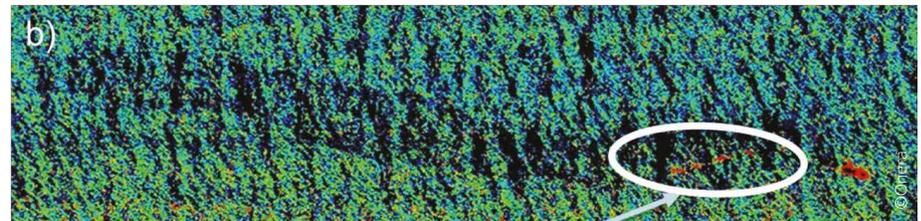
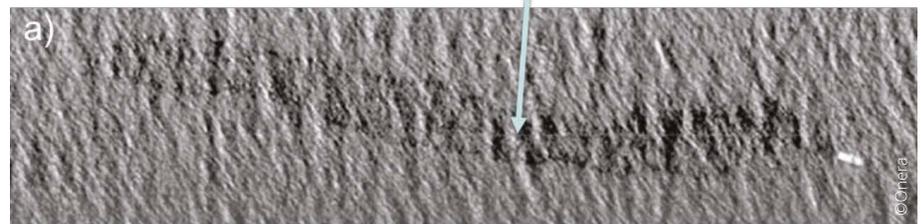


Figure 1 : observation radar (SAR) en bande X d'un déversement de xylène sur une étendue kilométrique lors des essais en mer dans le cadre du projet POLLUPROOF.

Nappe de xylène observable en optique (étendue 1km)



Partie de la nappe de plus forte épaisseur : identification spectrale possible

Figure 2 : observation optique d'un déversement de xylène lors des essais en mer dans le cadre du projet POLLUPROOF. a) Observation de la nappe en large bande dans le proche infrarouge : détection sur une étendue kilométrique. b) Carte de corrélation spectrale dédiée au xylène : identification du produit (rouge) sur une zone très restreinte.

Dans le cadre du projet ANR POLLUPROOF, trois technologies différentes aéroportées ont ainsi pu être testées lors d'essais en mer : imagerie optique hyperspectrale dans le domaine réfléchitif, infrarouge thermique et imagerie radar. Nous avons aussi pu mettre en évidence pour la première fois le potentiel de l'imagerie SAR (Synthetic Aperture Radar) aéroportée pour la détection et la caractérisation de nappes de substances nocives et potentiellement dangereuses (SNPD), technologie pour laquelle des essais en bassin à petite échelle ne sont

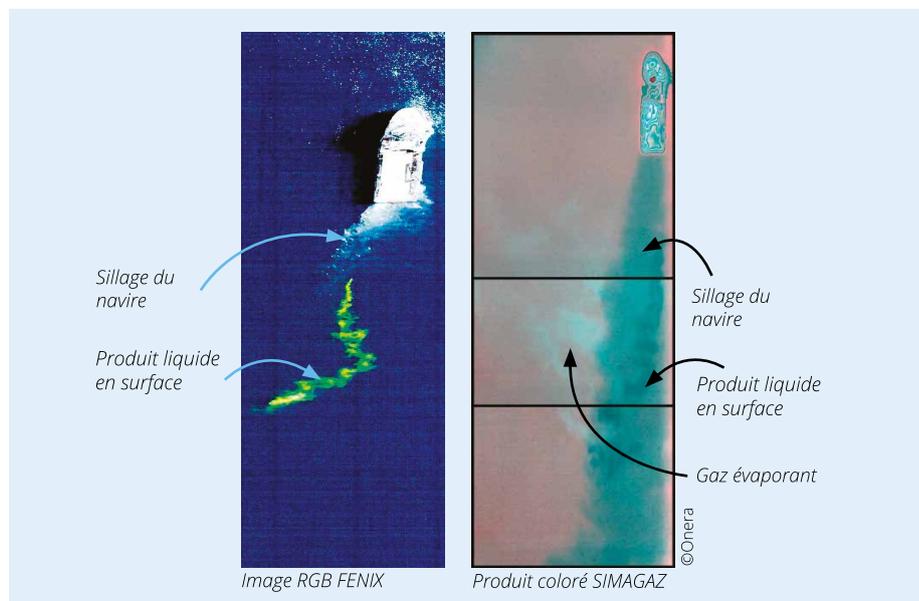
pas ou peu adaptés (distance de recouvrement, résolution spatiale). De plus, dans le cadre de ce projet il a été mis en évidence un changement radical du comportement des produits chimiques liquides en surface du fait de la présence de la houle et des vagues de capillarité ayant un impact important sur leur détectabilité et leur identification via l'imagerie spectrale optique : les observations obtenues lors des essais en bassin se sont avérées peu représentatives des essais en espace libre en pleine mer. La Figure 2 illustre que la nappe apparaît plus sombre que la surface de mer dans le proche infrarouge alors que le xylène déversé sur une surface non agitée en bassin se caractérise par une intensité 50% plus importante que la surface de l'eau propre dans la même gamme spectrale d'observation. Sur cette figure, apparaît en rouge la partie de la nappe la plus épaisse où l'identification de la signature

spectrale spécifique du xylène est possible, variabilité spatiale de l'épaisseur difficilement reproductible lors des essais bassins.

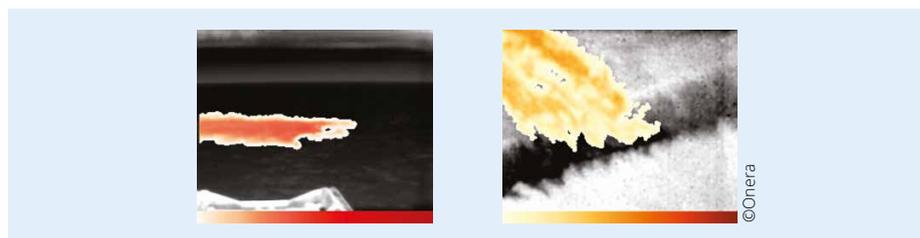
En effet, les instruments optiques sensibles aux longueurs d'ondes dans le domaine réfléchissant ($0.4\text{-}2.5\ \mu\text{m}$: lié à l'éclairage solaire) montrent un fort potentiel pour identifier les signatures spectrales des produits pour des épaisseurs de l'ordre du millimètre en bassin sur des temps assez longs (de l'ordre de l'heure pour un volume de 1 litre). Cependant, lors des différents essais réalisés en pleine mer, les conditions environnementales génèrent des conditions de dispersion qui entraînent un étalement rapide des nappes de produits chimiques et modifient la stratégie optimale permettant de les détecter et de les identifier.

De la même façon, lorsqu'on étudie l'apport de l'imagerie optique dans le domaine thermique ($8\text{-}12\ \mu\text{m}$: liée à l'émission naturelle propre des surfaces), on observe des différences notables de comportement entre l'échelle bassin et la pleine mer qui rendent la détection des produits plus délicate, en particulier, dès que la surface de la mer est un peu agitée.

Depuis 2020, l'Onera a pu participer en collaboration avec le Cedre et le CEPPOL à différentes expérimentations en pleine mer dans le cadre des campagnes IPOMAC et MANIFESTS. Lors de ces expérimentations un nouveau système d'imagerie spectrale dans le domaine thermique, nommé SIMAGAZ, a pu être déployé sur porteur aéroporté conjointement avec de l'imagerie hyperspectrale dans le domaine réfléchissant et depuis le navire (vue de la surface). Si ces tests en mer ont permis de confirmer que l'identification des nappes de produits chimiques a priori accessible via des essais en bassin devient très délicate et limitée lors de



^ Illustrations des observations optiques lors des essais en mer MANIFESTS. Imagerie visible aéroportée classique pour un déversement de colorant (gauche) et imagerie infrarouge spectrale (Instrument SIMAGAZ) pour le cas d'un produit incolore mais volatil (droite) : séparation du sillage, de la nappe en surface et du gaz



^ Segmentation et quantification du gaz (de 0 à 10000 ppm du blanc au rouge) évaporant à partir des observations spectrales infrarouge (Instrument SIMAGAZ) pour des acquisitions depuis le navire (photo gauche) et depuis avion (photo droite).

déversements en mer, ils ont par contre permis de montrer qu'il était possible d'observer les nuages évaporants des produits volatils. Si cette détection de gaz évaporant avait déjà été mise en évidence lors du projet POLLUPROOF sur des essais en bassin, son application opérationnelle en pleine mer semblait a priori délicate. Les images obtenues lors des essais en mer depuis 2020 sur différents produits volatils avec l'instrument SIMAGAZ ouvrent ainsi une nouvelle voie pour la gestion opérationnelle des accidents chimiques en mer. En effet, pour différents produits, les tailles caractéristiques des volumes de gaz observés sont largement supérieures aux tailles caractéristiques des nappes observables et peuvent être suivies sur des temps assez longs.

Les essais en mer permettent ainsi, dans un environnement réaliste, de mettre en correspondance des observations liées à la nappe liquide du polluant et au nuage de gaz évaporant avec les modèles de dispersions des produits en surface et dans l'air. Ce couplage mesures/modèles apparaît aujourd'hui nécessaire afin de fournir des prévisions fiables sur le devenir à court et moyen terme de ces polluants dans l'eau et dans l'air, facilitant ainsi le dimensionnement et le déploiement des secours et des moyens de lutte adaptés lors d'accidents chimiques en mer. ■

ARISE : une collaboration public-privé unique pour une évaluation efficace et pertinente des risques liés à l'ammoniac en mer.

Par **Laurent Ruhlmann**, Yara Clean Ammonia.

Yara Clean Ammonia (YCA) peut jouer un rôle majeur dans l'émergence de l'économie de l'hydrogène et atténuer les émissions de carbone dans les industries notoirement difficiles à décarboner. Pour cela, il est impératif que la production d'ammoniac s'oriente vers l'utilisation de sources d'énergie et de processus plus durables.

Cependant, les sources d'énergie propres ne sont pas toujours situées à proximité des zones de consommation de l'ammoniac, ce qui nécessite une augmentation du transport de celui-ci sur de longues distances, en particulier par voie maritime. L'ammoniac, ne contenant pas de carbone, n'émet pas de CO₂ lorsqu'il est brûlé, est pressenti comme carburant de nouvelle génération. Ces évolutions modifient considérablement les profils de risque dans le secteur du transport maritime, car elles introduisent des scénarios complexes de rejets accidentels qui doivent être pris en compte pour garantir la sécurité et la durabilité dans ce nouveau paradigme.



(a) Jet libre 210 mm, (b) Mur à 3 m et (c) Sol à 3 m

^ Essais réalisés par l'INERIS en 1997 sur l'ammoniac

L'évaluation précise de cet impact nécessite l'acquisition de connaissances spécifiques pour estimer les incidences sur l'environnement et la sécurité liées à l'augmentation des usages de l'ammoniac. Dans ce cadre et pour relever les défis posés par le cycle de vie de l'ammoniac, de sa production à son utilisation finale, Yara Clean Ammonia s'appuie sur des partenaires scientifiques essentiels, le Cedre et l'INERIS. De son côté, YCA apporte une vaste expertise opérationnelle et se positionne en leader mondial dans le développement du marché de l'ammoniac durable pour diverses applications.

Libération de l'ammoniac à grande échelle - une longue tradition...

L'ammoniac est produit, stocké et transporté à l'échelle industrielle, dans le monde entier, depuis plus de 100 ans. Environ 80 % de l'ammoniac produit aujourd'hui se retrouve dans des produits agricoles tels que les engrais à base d'azote.

Depuis les années 1960 jusqu'en 2010, cinq grandes expériences ont été menées sur le terrain pour comprendre le comportement des rejets de l'ammoniac.

Historiquement, la recherche et la modélisation de la sécurité de l'ammoniac ont été centrées sur son utilisation dans l'industrie des engrais, en se concentrant sur les rejets d'ammoniac chaud sur le sol. Ces recherches ont été cruciales pour l'élaboration de lignes directrices en matière de sécurité et de stratégies d'atténuation, telles que la définition de distances de sécurité



^ Soutage de navire à navire dans un port



Les sponsors

Platinum



Yara Clean Ammonia



Gold



ClassNK



Silver



Partners

GEXCON



Imodco



appropriées autour des installations terrestres. Toutefois, comme l'ammoniac commence à jouer un rôle important dans le transport maritime, notamment en tant que carburant, nous sommes confrontés à de nouveaux risques liés aux rejets d'ammoniac froid dans l'eau de mer. Contrairement aux rejets chauds sur terre, les rejets froids sur l'eau de mer sont moins bien compris, ce qui présente une lacune dans la capacité de l'industrie à adapter les logiciels existants de modélisation des conséquences aux applications maritimes.

ARISE est un projet spécialement conçu pour acquérir les connaissances manquantes grâce à une collaboration unique entre le Cedre, l'INERIS et la Marine nationale à travers le CEPPO.

L'aventure a commencé il y a un an, lorsque Yara Clean Ammonia a contacté le Cedre pour évaluer la possibilité de mettre à jour les travaux réalisés en 2006 sur la dispersion de l'ammoniac dans l'eau de mer. Depuis, beaucoup d'efforts ont été faits, les dirigeants d'ARISE, du Cedre et de l'INERIS se sont progressivement associés

à des organisations publiques mondialement reconnues.

ARISE se déroulera par étape sur une période de 2 ans, en commençant par la validation des capacités des différents capteurs en laboratoire, suivie d'essais en mer pour tester le protocole de mesure et le déploiement des bouées. Lorsque ces étapes préliminaires seront validées et contrôlées, l'expérimentation sera menée au cours du deuxième trimestre 2025. Les capacités logistiques de Yara Clean Ammonia seront alors combinées au soutien du CEPPO, et de nombreuses parties prenantes se joindront à l'expérience pour tester divers systèmes de détection et contribuer ensuite à la mise en place d'une réponse d'atténuation.

ARISE visera à établir des orientations claires pour la prévision de l'impact d'un rejet d'ammoniac froid dans l'eau de mer. Dans la continuité, plusieurs ateliers seront organisés pour proposer et établir des stratégies d'atténuation pertinentes. Une fois les données collectées, des études d'impact sur le milieu marin pourront être conduites.

Les enjeux de sécurité influencent en permanence les processus de prise de décision à tous les niveaux de l'organisation, en commençant par des évaluations approfondies et transparentes des risques. Le rôle de l'ammoniac dans la transition énergétique est essentiel et ARISE marque une étape clé pour assurer son déploiement en toute sécurité dans la société. En nous appuyant sur notre expertise approfondie de l'ammoniac, nous nous engageons à soutenir ARISE et nous encourageons l'ensemble de l'industrie à se joindre à nous dans cet effort. Nous remercions les sponsors qui ont déjà manifesté leurs intentions de contribution au financement du projet. ■



Les partenaires



Développement des connaissances sur les irisations

Par **Ronan Jézéquel**, ingénieur au service Recherche, Cedre.

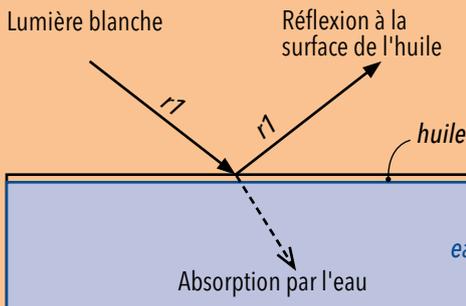
Le terme irisation est utilisé pour désigner un film organique d'épaisseur fine à la surface de l'eau. En fonction de son épaisseur, l'irisation présente 2 colorations. Ces différences s'expliquent non pas par une différence de composition chimique mais par un phénomène optique résultant de la modification de la réflexion de la lumière blanche :

- pour une épaisseur inférieure à $0,30 \mu\text{m}$, la lumière blanche est totalement réfléchie, on parle alors d'une coloration « reflet gris-argenté » ;
- pour une épaisseur comprise entre $0,30 \mu\text{m}$ et $5 \mu\text{m}$, un phénomène optique de diffraction de la lumière blanche et de réflexion et interférences entre les longueurs d'onde qui la composent explique la coloration « arc-en-ciel » de cette irisation.



▲ Vue du dispositif expérimental du Cedre d'observation des irisations.

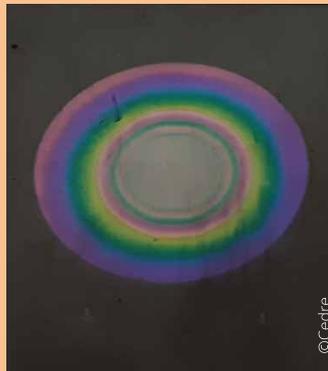
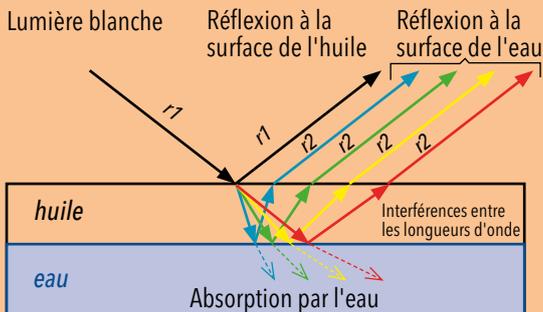
Irisation - épaisseur $< 0,30 \mu\text{m}$



Comment quantifier le volume de produit selon la taille d'une irisation ?

Afin d'obtenir des données permettant de quantifier le volume d'huile selon la taille d'une irisation, le Cedre a développé un dispositif original ainsi qu'un protocole expérimental permettant de répéter les observations d'irisations sur une surface totale de 20 m^2 dans des conditions de travail contrôlées. Au terme d'essais menés sur un panel de pétroles bruts et de produits raffinés, il a été possible de dresser une corrélation entre la surface d'une irisation et le volume de produit déversé. Le tableau suivant présente les résultats de cette corrélation qui vient confirmer les données de la littérature, notamment le code d'apparence de l'accord de Bonn.

Irisation - $0,30 \mu\text{m} < \text{épaisseur} < 5 \mu\text{m}$



Quel est le devenir d'une irisation ?

Au même titre qu'une nappe d'hydrocarbure, une irisation est sensible aux processus naturels de dégradation (évaporation, photo-oxydation, dissolution et biodégradation). La cinétique de disparition de l'irisation est liée non seulement aux conditions environnementales

(température, ensoleillement, vent, agitation) mais également à la composition chimique initiale du produit déversé. Dans le cas d'un produit léger (essence, pétrole brut léger,

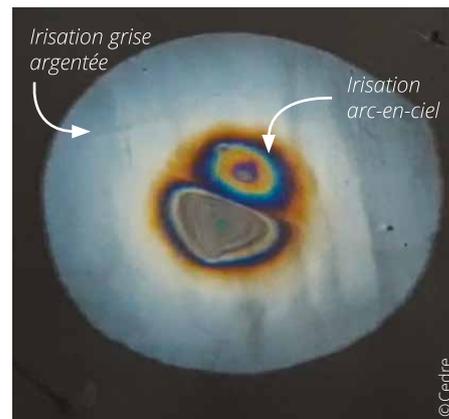
Surface de l'irisation	Volume maximal	
	Reflét argenté	Arc-en-ciel
1 m ²	0,3 mL	5 mL
10 m ²	3 mL	50 mL
100 m ²	30 mL	0,5 L
1 000 m ²	0,3 L	5 L
1 ha	3 L	50 L
10 ha	30 L	500 L
1 km ²	300 L	5 000 L
10 km ²	3 000 L	50 000 L

^ Corrélation entre la surface et la coloration d'une irisation et le volume de produit déversé.

white spirit), la disparition des irisations peut intervenir en l'espace de quelques heures du fait de l'évaporation et de la dissolution. Pour des produits plus lourds (gazole, huile hydraulique, fioul lourd), les irisations peuvent persister plus longtemps, d'autant plus si elles sont piégées dans un substrat meuble (sable, vase, terre).

Éléments de différenciation entre irisation naturelle et irisation pétrolière

Les irisations sont présentes naturellement dans l'environnement. La différenciation entre ces dernières et les irisations causées par une pollution (irisation pétrogénique) peut parfois être délicate. La figure ci-dessous présente des éléments simples pouvant permettre de différencier aisément les irisations. Le recours à une analyse chimique peut être envisagée pour des levées de doute sur l'identification de la nature de l'irisation. Le prélèvement doit se faire par adhésion de l'irisation sur un matériau inerte (exemple : film téflon préalablement rincé au solvant). L'analyse par chromatographie en phase gazeuse avec une détection par spectrométrie de masse (GC-MS) est à privilégier. L'analyse s'attachera plus particulièrement à rechercher la présence de composés de la famille des alcanes et des aromatiques (spécifiques des hydrocarbures pétroliers) ou d'acides carboxyliques, d'acides gras, de squalène (composés retrouvés dans les irisations naturelles).



^ Observation des 2 colorations d'une irisation lors d'un déversement d'hydrocarbure.

Gestion de la pollution

En termes de récupération, les essais menés ont confirmé la difficulté de récupération des irisations. Des absorbants conditionnés en feuille restent les plus adaptées pour récupérer ce film d'hydrocarbure par un phénomène d'adhésion sur la surface de l'absorbant. Cette technique de récupération ne peut être mise en œuvre qu'en eaux intérieures. ■

Irisation naturelle (biogénique)



^ Reflet (rarement arc-en-ciel) dont la coloration dépend de la couverture nuageuse. Pellicule « non élastique » / fragile se fragmentant au contact d'une brindille (effet « brise-glace traversant une banquise »).

Irisation pétrolière (pétrogénique)



^ Selon l'étalement, la coloration peut évoluer de l'arc-en-ciel vers le reflet. Film « élastique » qui se reforme rapidement en cas d'agitation.

Essais de matériels de lutte antipollution sur la Loire

Par l'équipe *Analyses et Moyens*, Cedre.

Les pollutions majeures ou moyennes confirment régulièrement la nécessité d'être en mesure de mettre en œuvre différentes stratégies de lutte en mer et à terre. Elles peuvent aussi parfois mettre en évidence certains manques ou insuffisances des dispositifs de lutte, notamment pour de nouveaux types de polluants.

Il convient alors de rechercher et de tester des équipements, nouveaux ou présents sur le marché, qui peuvent combler les manques observés ou apporter une complémentarité aux équipements existants. C'est ce à quoi contribue le Cedre, depuis sa création, à travers son action permanente d'évaluation des techniques de lutte en mer et sur le littoral. Cette action, qui s'inscrit dans sa programmation technique, vise à évaluer des équipements pour lesquels un besoin d'investissement est ressenti au niveau des stocks antipollution (POLMAR Terre et *Fast*

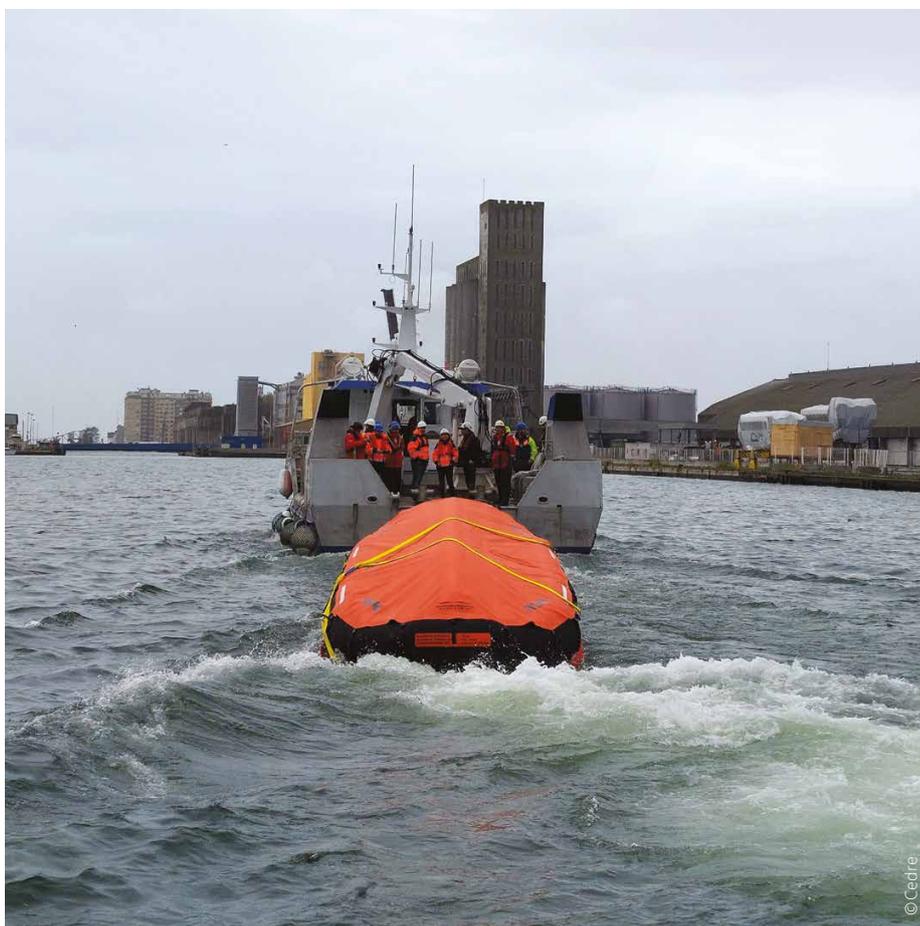
Oil Spill Team (FOST) notamment), ou ceux auxquels l'État français ou d'autres partenaires du Cedre sont susceptibles de faire appel via les stocks privés français et étrangers, ou également les stocks publics étrangers, stocks EMSA... Il arrive aussi que des stratégies bien établies soient appelées à être partiellement revues au gré des enseignements et de l'avancée des techniques ou des produits, mis en avant à travers les bilans des connaissances et états de l'art qui font partie intégrante de cette action.



▲ Dispositif de collecte sur navire d'opportunité

Ces évaluations de matériel sont conduites au Cedre, chez des partenaires, ou dans l'environnement naturel. Depuis 2013, le Cedre organise notamment des essais dans l'estuaire de la Loire. Ces essais sont réalisés en partenariat avec le Grand Port Maritime de Nantes-Saint-Nazaire (GPMNSN) et la subdivision Phares et Balises de Nantes-Saint-Nazaire, avec le soutien des fabricants et distributeurs des équipements testés. L'estuaire de la Loire présente plusieurs caractéristiques spécifiques : courants souvent supérieurs à 1 nœud, et jusqu'à 4 nœuds en flot et 6 nœuds en jusant, risque de pollution par hydrocarbures dû aux diverses activités de la zone, présence à proximité de sites particulièrement sensibles, notamment de zones naturelles classées, taille significative du plan d'eau, ou encore, infrastructures mises à disposition qui facilitent la mise en œuvre de matériels.

Depuis 2013, ce sont notamment six dispositifs de confinement spécialement conçus pour les zones à forts courants qui ont été testés, en association ou non avec des paravanes, ainsi que des récupérateurs et des dispositifs de stockage flottants. Des drones ont également été évalués dans les étiers situés à proximité. Dans le cadre de la programmation technique 2023 du Cedre, la Direction Générale des Affaires Maritimes, de la Pêche et de l'Aquaculture (DGAMPA), via le Pôle National d'Expertise POLMAR Terre (PNE), TotalEnergies via le FOST, et l'UFIP Énergies et Mobilités, ont souhaité réaliser l'évaluation de deux types de dispositifs anti-pollution : des stockages flottants de type barge, destinés à collecter les hydrocarbures récupérés sur un plan d'eau, et des systèmes de collecte dont la singularité est qu'ils s'adaptent relativement facilement sur des navires dits d'opportunité, c'est-à-dire non spécialisés dans la lutte antipollution. ■



▲ Remorquage d'un stockage flottant

Déterminer l'état de santé des écosystèmes estuariens

Par **Jennifer Laurent**, dans le cadre d'une thèse de doctorat co-financée et co-encadrée par le Cedre et l'Université de Bretagne Occidentale.

Les estuaires, des écosystèmes vulnérables

Les estuaires – où les eaux intérieures et marines se mélangent – sont considérés comme l'un des habitats naturels les plus productifs et assurent une multitude de services éco-systémiques. En effet, les estuaires constituent des zones de migration, de reproduction, de croissance et de survie pour un grand nombre d'espèces aquatiques et marines.

Les estuaires sont également au centre de nombreuses activités anthropiques avec d'importants enjeux socio-économiques, telles que la pêche, les industries portuaires, l'agriculture, l'aquaculture, la conchyliculture et le tourisme. Par conséquent, les estuaires sont exposés à une multitude de pressions, ainsi qu'au changement climatique.

L'ensemble de ces stressors (multistress) influencent fortement l'état de santé des estuaires à travers une diminution générale de la qualité des eaux de transition et une perte de biodiversité.

La dégradation des habitats estuariens va impacter la capacité des estuaires à assurer leurs rôles écosystémiques et affecter de nombreuses espèces estuariennes, parmi lesquelles le flet.

Par conséquent, il est essentiel de développer des outils de diagnostic performants pour déterminer l'état de santé des écosystèmes estuariens.



▲ Pose de PIT-tag (puce RFID) sur un juvénile de flet

Le flet européen : une espèce sentinelle

Le flet européen (*Platichthys flesus*), poisson plat estuarien, est principalement observé dans les eaux côtières et saumâtres, avec une préférence pour les fonds meubles et les substrats sablo-vaseux.

Le flet est une espèce présente dans l'ensemble des estuaires français et européens, puisque son aire de distribution s'étend de la Mer Blanche (Russie) jusqu'à l'estuaire du Mondego (Portugal). Le flet, à l'instar de l'anguille, est un poisson catadrome. De ce fait, il passe une grande partie de sa vie en eau intérieure, et ne migre en zone côtière que pour assurer sa reproduction.

Par conséquent, le flet, par son cycle de vie résolument estuarien, sa très forte tolérance aux variations de salinité et sa faible mobilité dans le système estuarien à l'état juvénile est une espèce sentinelle d'intérêt majeur pour évaluer l'état de santé des écosystèmes estuariens.

Premier cas d'étude : l'estuaire de la Seine - Pollution chronique et accidentelle

Évaluer l'impact des différents types de stressors chimiques de l'estuaire de la Seine

Au cours du XIX^{ème} siècle, l'estuaire de la Seine a été fortement modifié afin d'accueillir des activités industrielles et agricoles et des zones urbaines. Ces activités humaines ont engendré une contamination multiple et chronique faisant de l'estuaire de la Seine l'un des plus pollués d'Europe.

La grande diversité de polluants présents dans la Seine ne peut être quantifiée de manière précise car ils ne sont pas tous connus. De ce fait, les analyses biologiques apparaissent très



▲ Matériel de dissection pour prélever les échantillons dissection, Eppendorf, azote liquide)

appropriées car elles permettent une mesure directe de l'impact des molécules anthropiques sur les organismes.

La présente étude a pour objectif de faire un état des lieux sur l'impact actuel du multistress sur le flet en Seine, afin d'analyser la réponse à l'état adultes et de déterminer si le changement climatique constitue un facteur de stress additionnel.

Pour ce faire, une approche multi-biomarqueurs a été développée sur des flets adultes sexuellement matures afin de caractériser leur état de santé, en Seine par rapport à la Canche (estuaire de référence situé au sud de celui de la Seine).

La variation temporelle des températures hivernales des eaux estuariennes de la Seine et de la Canche a révélé une légère augmentation de la température de l'eau en hiver depuis 2017, liée au changement climatique.

Les premières analyses menées sur le flet ont mis en évidence des changements



de tissus à analyser (loupe binoculaire, matériel de

dans la phénologie de la reproduction de celui-ci, par rapport aux années antérieures. Ces changements semblent être liés à des températures de l'eau plus élevées en hiver, à l'origine du retard dans la maturation des ovocytes et dans la ponte des flets en Manche. Ainsi, la hausse des températures de la Manche en hiver conduit à une ponte plus tardive.

Les concentrations en métaux dans les flets étaient relativement similaires entre les deux systèmes, avec cependant des teneurs plus faibles en période estivale. Dans la Canche, les plus faibles concentrations de métaux dans les flets en été pourraient être liées au faible débit du fleuve côtier en direction du nord, entre la Seine et la Manche Est, limitant les flux de métaux. Ce flux, dérivant vers le nord-est de la Manche, transporte des polluants ainsi que les œufs et les larves venant de la Seine.

Les dosages de polluants organiques dans le foie des flets ont révélé que leurs concentrations étaient plus élevées en Seine qu'en Canche. Cependant, il est important de relever que la contamination en Seine en 2018 est beaucoup plus faible que dans les années 2000.

Les biomarqueurs mesurés chez les poissons ont permis de détecter les impacts du stress chimique et du changement climatique sur la population de flet en Seine. Par conséquent, nous suggérons que la population de flet en Seine, ainsi que celles de la Manche Est, pourraient être, à l'avenir, sérieusement affectées par un stress multiple, tel que des températures hivernales plus élevées combinées à une contamination chimique soutenue.

Évaluer l'impact d'une pollution accidentelle dans l'estuaire de la Seine : l'incendie de Lubrizol et de Normandie-Logistique

À Rouen le 26 septembre 2019, un incendie s'est déclaré dans les entrepôts de stockage de produits chimiques des usines de Lubrizol (classée Seveso car produit et stocke des perfluorés et des organo-sulfurées) et Normandie-Logistique, spécialisée dans le transport de marchandises dangereuses.

Cet incendie de grande ampleur a nécessité l'intervention des pompiers qui ont dû utiliser des mousses d'extinction. De ce fait, les eaux d'extinction mélangées aux diverses substances chimiques ont été déversées dans le Bassin

aux Bois (2 000 m³), connecté à la Seine. Enfin, l'incendie a engendré un épais panache de fumée noire, atteignant plus de 20 kilomètres de hauteur.

La présente étude a pour objectif d'évaluer l'impact de la pollution accidentelle qui a suivi l'incendie sur la qualité de l'eau de l'estuaire de Seine.

Ce travail a bénéficié d'une étude antérieure, réalisée en 2017, qui visait à évaluer la qualité de l'eau estuarienne de la Seine via des analyses protéomiques sur le flet. Ainsi, suite à l'incendie, il a été décidé de conduire une expérimentation similaire, notamment en capturant des flets juvéniles en Canche, puis en les encageant à Rouen, à 10 kilomètres en aval des usines incendiées.



*Analyse protéomique :

C'est une image à un instant T de l'ensemble des protéines dans une cellule qu'elle soit humaine, animale ou végétale.



▲ Échantillonnage de juvéniles de flet par pêche à la senne à main dans l'estuaire de l'Horn (Plougoulm, Octobre 2019)

Les flets engagés pendant un mois en aval du site de l'accident ne présentaient pas de symptômes apparents d'altération de leur santé.

Cependant, les approches protéomiques menées sur les foies des flets engagés ont révélé une surexpression des protéines associées aux voies de détoxification des xénobiotiques en Seine, confirmé par les mesures d'activité d'un biomarqueur.

La protéomique a également mis en évidence une forte dérégulation du métabolisme des lipides en Seine, et plus particulièrement la synthèse du cholestérol, confirmé par les mesures effectuées dans le muscle des poissons engagés.

Aux vues de ces résultats, nous avons réalisé des dosages de biomarqueurs (mousses anti-incendie) dans les sédiments, afin de détecter une pollution additionnelle liée à l'accident, qui pourrait expliquer les réponses induites chez le flet.

Or, les concentrations en polluants dans les sédiments prélevés au début du caging en 2019 étaient inférieures à celles mesurées en 2017. La faible contamination des sédiments pourrait être liée au protocole d'urgence mis en place lors de l'accident (plan POLMAR), qui consistait à confiner les eaux contaminées dans un bassin adjacent à la Seine (barrages flottants), et à pomper les eaux souillées.

Ainsi, nous suggérons que l'incendie a pu entraîner une contamination diffuse de la Seine par la propagation du panache de fumée de l'incendie, contenant des dioxines et des furanes issus de la combustion, sur la ville de Rouen. Les toxiques ont par la suite été déposés et lessivés par la pluie, jusque dans la Seine.

Les flets engagés auraient pu être contaminés via leur régime alimentaire, car les amphipodes concentrent les dioxines et les furanes sans être impactés par leurs effets toxiques. Une contamination par celles-ci pourrait expliquer la dérégulation du métabolisme lipidique chez les flets, détectée par protéomique.

Second cas d'étude : les estuaires de Bretagne - Pollution chronique

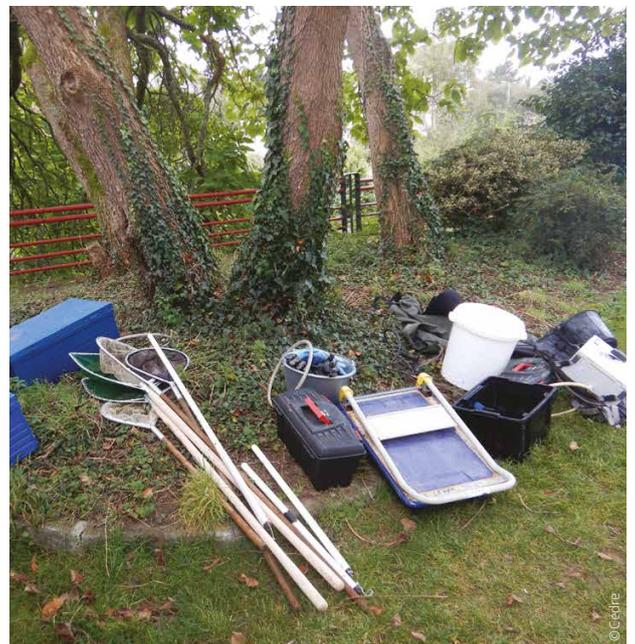
Évaluer la qualité écologique de petits estuaires bretons soumis au multistress chronique

Les petits estuaires sont caractérisés par leur taille réduite, une faible hétérogénéité environnementale, une faible variabilité inter-individuelle et ils sont moins impactés par les activités anthropiques, car leur petite taille restreint l'implantation de zones industrielles et urbaines.

La présente étude a pour premier objectif d'établir la typologie de petits fleuves côtiers pour identifier les principaux facteurs de stress spécifiques de chaque estuaire et définir un système de référence peu impacté par les stressseurs. Le second objectif est d'intégrer les réponses en protéomique chez le flet pour mener une évaluation globale de l'état écologique de ces petits estuaires.



△ Échantillonnage de juvéniles de flet par pêche électrique dans l'estuaire de l'Aven (Pont-Aven, Septembre 2019)



△ Matériel de pêche électrique pour l'échantillonnage de juvéniles de flet en milieu naturel

Pour ce faire, nous avons développé une approche multidisciplinaire combinant la géographie sur les bassins versants (usages des sols), l'hydrobiologie des cours d'eau (paramètres physico-chimiques), la chimie des polluants, et enfin la biologie du flet (multi-biomarqueurs et protéomique). Les résultats de l'étude révèlent une diversité de stressseurs dans les estuaires étudiés.

Les systèmes les plus stressés sont ceux de l'Horn, du Guillec, de la Flèche et du Quillimadec, avec une forte pression agricole et des concentrations élevées en nitrates, nitrites et ammonium liée aux cultures maraîchères intensives. Le bassin du Gouessant présente également une pression liée à l'élevage et à la culture de maïs. À l'inverse, le système de Noyaloe présente des niveaux élevés de polluants organiques tandis que celui du Scorff présente une pollution chronique par les métaux. Enfin, la Douffine était marquée par une contamination multi-métallique due à des activités minières passées et une intense activité piscicole. À contrario, le système de l'Aven est identifié comme le moins impacté.

La protéomique a aussi mis en évidence des réponses physiologiques spécifiques des poissons dans chaque estuaire. Les poissons de l'Horn présentaient des signes de détoxification et une dérégulation du cycle de l'urée, ceux de la Penzé ont montré des réponses liées à l'hypoxie, et Noyaloe présentaient des signes d'exposition aux xénobiotiques. Les flets de la Flèche ont montré des différences dans la réponse au cocktail de polluants. Les individus du Quillimadec présentaient des réponses à l'hypoxie et au stress thermique, de même que chez les flets du Gouessant.

Les résultats soulignent l'importance d'une approche intégrée multidisciplinaire pour évaluer l'impact des activités anthropiques sur les écosystèmes estuariens. ■



^ Représentation géographique des estuaires bretons étudiés



^ Installation du matériel de dissection sur le terrain (camion aménagé)

A côté du suivi de l'état de santé des flets *in natura*, des essais exploratoires ont été menés dans les installations du Cedre. Sur le plan opérationnel, le principal résultat est la définition d'un protocole de mesures permettant de suivre au mieux la qualité de nos environnements aquatiques soumis à des pressions anthropiques chroniques ou accidentelles. Protocole qui pourrait être utilisé pour qualifier l'impact d'eaux d'extinction d'incendie déversées en rivière, ou encore, l'impact du méthanol, future énergie de propulsion, en cas de déversement accidentel.

Le Cedre et le Cerema renforcent leur coopération



^ Signature d'un partenariat Cedre - Cerema en présence de Christophe Logette, Directeur du Cedre et de Pascal Berteaud, Directeur Général du Cerema



Le 9 janvier, Pascal Berteaud et Christophe Logette ont officialisé une convention de coopération scientifique et technique, consolidant ainsi la collaboration entre le Cerema et le Cedre.

Établissement public relevant du ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, le Cerema accompagne l'État et les collectivités territoriales pour l'adaptation au changement climatique et la transition écologique des territoires. Le Cedre est très heureux de renforcer ses liens avec le Cerema dans la prévention et la gestion des pollutions des milieux naturels par les déchets, dans les risques de pollutions liées aux parcs éoliens en mer et dans les pollutions des eaux des espaces littoraux, des ports, réseaux et cours d'eau.

Un nouveau réseau d'acteurs contre les macrodéchets plastiques créé et animé par le Cedre et l'OiEau

Par Marine Paul, ingénieure au service Surveillance et Etudes des Déchets Aquatiques, Cedre

L'Office International de l'Eau (OiEau) et le Cedre s'associent pour créer et animer un réseau d'appui et d'accompagnement vers l'action, à destination des collectivités, dans la lutte contre les macrodéchets plastiques, financé par l'Agence de l'Eau Loire-Bretagne.

3,3 tonnes de déchets transitent chaque année dans les réseaux d'eaux pluviales selon une étude menée sur le territoire de la métropole de Brest. Les réseaux urbains sont identifiés comme étant des voies de transfert de déchets vers les milieux aquatiques, que ce soit les cours d'eau ou le milieu marin.



^ Déchets et réseaux urbains

Au niveau national, les déchets dans les systèmes d'assainissement d'eaux usées ou d'eaux pluviales sont ciblés par plusieurs plans d'actions portés par le Ministère en charge de l'environnement, notamment le plan Biodiversité (2018) et le plan d'action associé « Zéro déchet plastique en mer » (2020-2025).

Au niveau local, l'intérêt des collectivités et des exploitants de réseaux pour le sujet se heurte encore souvent à des contraintes d'exploitation, des questionnements sur la stratégie, les méthodologies à appliquer, les rôles de chacun et le retour sur investissement.

Dans ce contexte, l'OiEau et le Cedre s'associent et lancent un réseau d'appui et d'accompagnement vers l'action à destination des collectivités locales afin de favoriser l'innovation, les échanges sur les retours d'expériences et les bonnes pratiques.

Pour mener à bien ce projet financé par l'agence de l'eau Loire-Bretagne, 3 objectifs ont été définis, à atteindre d'ici 2026 :



- constituer et animer un réseau de collectivités à l'échelle du bassin, impliquées ou souhaitant s'impliquer dans cette démarche,
- accompagner la mise en œuvre d'actions de lutte contre les macrodéchets plastiques,
- produire et mettre à disposition du réseau des ressources de référence.

Ainsi, collectivités et exploitants de réseaux pourront bénéficier d'un conseil indépendant afin de mettre en place une stratégie globale efficace et pérenne de lutte contre les macrodéchets plastiques. ■

Collaboration OCA Taïwan - Cedre pour la publication du manuel HNS en version chinoise

Par 游佳雯 (Sophie), *Ocean Conservation Administration*.

L'Administration taïwanaise pour la conservation des océans et le Cedre ont collaboré afin de publier une version chinoise du manuel d'intervention en cas de déversement en mer de HNS.

Compte tenu de la vaste expérience du Cedre en matière de formation à la pollution marine, le Cedre a renforcé sa collaboration avec l'OCA-Taïwan en signant un protocole d'accord en 2019. Ce protocole vise à renforcer les échanges et la coopération entre les deux entités dans divers domaines liés à la prévention de la pollution marine et aux capacités d'intervention.

Taïwan, plaque tournante du transport maritime de l'Asie et de l'océan Pacifique, voit passer chaque année dans ses eaux de nombreux porte-conteneurs, pétroliers, vraquiers et navires divers. Outre la mise en place d'un cadre structuré d'intervention en cas de pollution par les hydrocarbures, Taïwan a un besoin urgent d'être informé des dernières publications liées à la préparation et l'intervention en matière de substances nocives et potentiellement dangereuses. Le "manuel d'intervention en cas de déversement en mer HNS" sert de guide et de norme essentiels pour répondre aux accidents liés aux HNS. C'est ainsi que l'administration taïwanaise pour la conservation des océans (OCA) et le Cedre ont collaboré pour publier la version chinoise de ce manuel HNS. Ce partenariat collaboratif et amical entre le Cedre et l'OCA de Taïwan renforce non seulement les capacités de Taïwan en matière de lutte contre la pollution marine, mais établit également un modèle de coopération internationale dans le domaine de la protection marine, contribuant collectivement à la préservation de l'écologie marine.

Ce manuel HNS fournit des informations pratiques et complètes sur la pollution marine

par les SNPD. Élaboré sous la direction du Secrétariat général de la mer en collaboration avec les experts du Cedre, de l'ISPRa et de l'ITOPF, le contenu de ce document produit dans le cadre du projet européen West MoPoCo englobe les conventions, les réglementations, la classification des dangers et des comportements, la préparation, l'intervention et la gestion d'accidents impliquant des substances nocives et potentiellement dangereuses. Il donne aux gouvernements, aux parties prenantes et aux organisations chargés de la lutte anti-pollution les responsabilités et les méthodes nécessaires pour assurer une coordination et une coopération efficaces en cas de crise. En outre, il offre des conseils techniques et des bonnes pratiques pour répondre à des accidents spécifiques, permettant au personnel d'intervention d'évaluer et de gérer immédiatement ces accidents en mer, de prendre des décisions cohérentes et des mesures appropriées, réduisant ainsi au minimum les pertes et les impacts négatifs. Reconnaisant la valeur significative du manuel pour Taïwan et son aide précieuse pour la lutte contre la pollution par les substances nocives et potentiellement dangereuses, l'OCA de Taïwan a demandé l'autorisation de le traduire en chinois.

Grâce à une communication proactive et au soutien du Cedre, la version chinoise du manuel HNS a été approuvée avec succès par tous les auteurs et les institutions de parrainage et est publiée et diffusée sur son site web officiel. La traduction du manuel en chinois permet au personnel taïwanais impliqué dans la lutte contre la pollution marine, de travailler dans sa langue natale et de surmonter les barrières linguistiques, facilitant une meilleure compréhension des principes directeurs, des procédures et des bonnes pratiques, leur permettant de prendre des mesures concrètes

en cas d'incidents par HNS. Cette initiative vise à renforcer la capacité de Taïwan à faire face à de tels accidents dans l'environnement marin, en gérant et en atténuant efficacement les impacts potentiels sur l'écosystème océanique et la santé publique.

L'OCA - Taïwan poursuivra sa collaboration avec le Cedre, en se concentrant sur la formation du personnel et les exercices d'utilisation des équipements de lutte antipollution. L'OCA - Taïwan a ainsi d'ores et déjà programmé, courant 2024, deux formations respectivement dédiées à la gestion pratique des déversements d'hydrocarbures de niveau OMI 2 et à la gestion des déversements de HNS au standard de l'OMI, niveau cadres. Ceci permettra d'améliorer encore les compétences professionnelles du personnel taïwanais chargé de la lutte contre la pollution marine. ■



Manuel d'intervention en cas de déversement en mer de HNS en mandarin disponible sur www.cedre.fr

La coopération Cedre - Service Départemental d'Incendie et de Secours du Finistère

Par Marguerite Lamour, Présidente du SDIS du Finistère.



^ Nouveau centre de formation départemental du SDIS29 en construction à Saint-Ségal (29)

L'intervention en cas de pollution des eaux revêt une importance toute particulière pour le SDIS du Finistère. En effet, dans un département qui compte 1430 kilomètres de côtes très exposées aux risques liés au transport maritime, le SDIS doit être prêt à agir sur le littoral en cas d'échouage d'hydrocarbures ou de produits chimiques. Mais le Finistère se caractérise aussi par une production d'eau potable basée pour l'essentiel sur des captages d'eaux superficielles qui peuvent également être menacés par des pollutions accidentelles des cours d'eau contre lesquelles le SDIS doit être capable de lutter. C'est pourquoi, le SDIS du Finistère s'est doté de cellules dépollution

(DEPOL) et de Cellules Mobiles d'Intervention Chimiques (CMIC).

Le SDIS fait régulièrement appel à l'astreinte du Cedre pour obtenir des conseils opérationnels ou solliciter une expertise de terrain quand la situation est complexe. L'expertise du Cedre, basée sur ses recherches scientifiques, ses bases de données et son expérience, est très appréciée de nos équipes DEPOL et CMIC.

En matière de formation, la collaboration est également continue. En effet, le SDIS peut entraîner son personnel sur le plateau technique du Cedre et peut compter sur ses experts

pour assurer certains modules de formation. Réciproquement, le SDIS peut être sollicité par le Cedre pour des présentations au profit de ses équipes ou celles de ses partenaires.

Enfin, le SDIS du Finistère et le Cedre coopèrent dans le cadre de projets de recherche. Le dernier en date est le projet IRA-MAR financé par le mécanisme européen de protection civile. Le SDIS et le Cedre ont travaillé conjointement sur l'utilisation des drones aériens en cas de pollution et ont conduit diverses expérimentations au Cedre, en mer et sur une île italienne qui ont abouti à la conception d'un prototype de plateforme d'échantillonnage.



^ Présentation de matériel de dépollution au Cedre



^ Test de drones et capteurs sur les bassins du Cedre dans le cadre du projet IRA-MAR



^ Formation pose de barrage flottant pour le SDIS 29 au Cedre

Le SDIS construit actuellement son Centre de Formation Départemental, pour une inauguration prévue au mois de septembre prochain. Le Cedre a été associé à ce projet dès 2020 et accompagne le SDIS dans la définition des spécifications du plateau technique. Ces réflexions ont abouti à l'aménagement de plusieurs plateformes qui permettront au Cedre de conduire différents types d'exercices, tests d'équipements et travaux de recherche, qu'il ne peut pas organiser sur son propre plateau technique. Ainsi, une première plateforme constituée d'un arbre à fuites et de conteneurs maritimes permettra de travailler sur le déversement de produits chimiques en site industriels ou portuaires. Une zone routière constituée d'une voie bitumée bordée par différents types de fossés, avaloirs, regards, canalisations aériennes et enterrées, permettra de former les équipes au confinement des déversements routiers de substances dangereuses dans une diversité unique de scénarios. Les caissons incendie

ont été également conçus pour permettre au Cedre de conduire des travaux de recherche sur le brûlage des nappes d'hydrocarbures. Et, de nombreuses autres possibilités de collaboration seront rendues possibles par ce futur centre.

Je ne peux que me réjouir de si nombreuses synergies entre le SDIS du Finistère, que je préside, et le Cedre, dont l'histoire est liée à la commune dont je suis maire. En effet, l'échouement du pétrolier *Amoco-Cadiz* sur nos côtes en 1978, la plus grande marée noire jamais connue, aura permis de mieux prendre en compte la préservation des océans par la création d'organismes tels que le Cedre qui fut pionnier en matière de lutte contre les pollutions marines.

Cette collaboration nous fait progresser en matière de préparation et de lutte contre les pollutions accidentelles des eaux, au bénéfice de l'environnement et de tous les usagers des milieux aquatiques. ■



*DEPOL

La cellule dépollution est une des cellules de la spécialité de l'Unité Risques Technologiques. Elle permet notamment la mise en place de barrage dans les cours d'eaux et même sur les canaux.

*CMIC

La cellule mobile d'intervention chimique (CMIC) est une unité d'appui spécialisée créée pour apporter une réponse opérationnelle et préventive face à la présence de produits dangereux, polluants ou non identifiés.



IRA-MAR
AMÉLIORER LA LUTTE INTÉGRÉE CONTRE
LES ACCIDENTS DE POLLUTION EN MER ET
LES RISQUES CHIMIQUES DANS LES PORTS

IRA-MAR

Le projet IRA-MAR « Improving the Integrated Response to pollution Accident at sea & chemical risk in port », co-financé par la Commission Européenne (DG-ECHO) et coordonné par le Secrétaire général de la mer, a eu pour objectif d'accompagner les pays riverains de l'Ouest du bassin méditerranéen et de l'Atlantique (l'Espagne, la France, l'Italie, Malte, le Maroc, le Portugal et la Tunisie) afin d'améliorer les dispositifs de préparation et de lutte contre les risques de pollution (y compris les risques liés au trafic de substances nocives et potentiellement dangereuses dans les ports) grâce à une approche intégrée des moyens de lutte en mer, sur le littoral et dans les ports. D'une durée de deux ans, ce projet européen, dans lequel le Cedre s'est fortement impliqué, s'est achevé le 29 février 2024.

Le Cedre, acteur clé du développement des capacités de sécurité maritime indonésiennes

Par **Héloïse Humbert**, Direction de la Coopération de Sécurité et de Défense.

Avec près de 16 000 îles, l'Indonésie est le plus grand archipel du globe, situé à la croisée des océans Indien et Pacifique, dans un emplacement maritime stratégique où 40 % du trafic maritime mondial transitent. Lancé dans un développement maritime ambitieux, qui devrait voir ce trafic encore augmenter près de ses côtes, l'État indonésien a pris conscience du besoin de développer une politique de sécurité maritime adaptée.

Dans ce cadre, la France, à travers la Direction de la Coopération de Sécurité et de Défense (DCSD), a proposé son assistance, ce qui a conduit, en 2021, à la mise en place d'un coopérant au sein du ministère de la politique maritime indonésien. Placé auprès du directeur de la sécurité et de la résilience maritimes, cet officier de marine a notamment pour mission de mettre en relation les spécialistes français et indonésiens du domaine.

S'agissant de la gestion des pollutions marines, dont le traitement revêt une importance vitale

dans un État archipélagique, l'Indonésie est dans une situation proche de celle de la France des années 70, avant la prise de conscience née des grandes pollutions. Cela a encore été démontré, en février 2023, avec la gestion de l'échouage du vraquier *MT Aashi* sur l'île de Nias. C'est donc tout naturellement que la DCSD et son coopérant se sont tournés vers le Cedre pour lancer une coopération bilatérale dans ce domaine.

Point de départ d'une année 2023 riche en échanges entre l'Indonésie et le Cedre, Mme Kusumawardani, directrice de la sécurité et de la résilience maritimes indonésienne, s'est rendue à Brest, le 28 décembre 2022, pour visiter le centre et lancer cette coopération. Une rencontre très fructueuse qui se concrétisera par de nouvelles actions aussi bien dans les domaines de la formation que des opérations.

En effet, s'est déroulé, les 5 et 6 juillet 2023, à Batam, la conférence régionale consacrée à la sécurité maritime rassemblant 4 nations riveraines d'Indo-pacifique sous l'égide de



^ Visite des installations du Cedre par une délégation indonésienne



^ Participation d'une délégation indonésienne au stage « Principes d'intervention en mer en cas de pollution chimique » niveau cadres, organisé par le Cedre

l'Union Européenne. Un exercice de gestion de crise a permis à un ingénieur du Cedre de conseiller les participants sur la gestion de la pollution maritime.

Enfin, à Brest, au Cedre, du 7 au 10 novembre dernier, un stage " Principes d'intervention en mer en cas de pollution chimique " délivré selon les standards de l'Organisation Maritime Internationale, niveau cadres, a intégré pour la première fois deux stagiaires indonésiens, une chercheuse océanographe de l'agence nationale pour la recherche et l'innovation (BRIN) et un analyste politique. ■

Deux nouvelles formations développées pour les collectivités et les élus

Par **Natalie Monvoisin**, cheffe du service Études et Formation, Cedre.

Les communes sont en première ligne pour faire face à des événements de pollutions accidentelles des eaux que ce soit en rivière, sur le littoral ou au sein d'une zone portuaire. C'est d'ailleurs à ce titre que le memento du Maire et des autorités locales (www.mementodumaire.net) récemment revu par l'IRMA (Institut des Risques Majeurs) intègre une section « Pollutions maritime, fluviale et littorale » rédigée par le Cedre. C'est aussi ce que rappelle l'instruction POLMAR, mise à jour le 19 juillet 2022 rappelant que la responsabilité de la lutte contre la pollution du milieu marin et du littoral consécutivement, incombe de façon permanente aux préfets maritimes, aux préfets de département et aux maires directeurs des opérations sur leur commune.



▲ Déploiement de barrage de protection dans le cadre d'un exercice pratique ORSEC/POLMAR - Terre

Dans ce contexte, le Cedre propose des formations catalogue ouvertes aux élus et contribue aux formations ORSEC/POLMAR-Terre à destination des services de l'Etat et des collectivités financées par la Direction générale des affaires maritimes de la pêche et de l'aquaculture et organisées dans chaque département littoral tous les trois ans. Le Cedre a également souhaité développer pour ces acteurs clés que sont les collectivités et les élus, deux formations spécifiques à dispenser sur la totalité du territoire

français, l'une dédiée à « La gestion des **pollutions marines** accidentelles » et la seconde à « La gestion des pollutions accidentelles en **eaux intérieures** ». Pour ce faire, le Cedre a élaboré un dossier de demande courant 2023 et obtenu, sur décision du Ministère de l'intérieur et des outre-mer du 20 juillet 2023, un agrément pour dispenser des formations aux élus locaux.

D'une durée d'une journée chacune, ces formations traiteront de différents sujets parmi

lesquels les sources et enjeux des pollutions, le cadre légal et réglementaire, les outils et expertise disponibles, le volet Pollution des plans communaux de sauvegarde (PCS) et se concluront par une étude de cas. ■



▲ Déploiement de barrage de protection dans le cadre d'un exercice pratique en eaux intérieures



▲ Organisation de chantier et collecte manuelle de polluant dans le cadre d'un exercice pratique



Retrouvez le détail de ces formations dans le catalogue Formation 2024 du Cedre disponible sur www.cedre.fr

Lancement de nouveaux projets européens sur les déchets aquatiques

Par l'équipe Surveillance et Études des Déchets Aquatiques, Cedre.

L'activité du Cedre sur les déchets aquatiques continue à se développer avec le lancement de deux nouveaux projets européens qui ont été lauréats d'un financement et qui vont permettre d'aborder de nouveaux sujets tels que la pollution dans les zones portuaires et les zones d'accumulation sur le littoral.



^ Déchets échoués dans un port de plaisance

TREASURE

Interreg North Sea



Co-funded by
the European Union

Depuis juin 2023, le Cedre est partenaire du projet européen TREASURE, co-financé par le programme Interreg Mer du Nord et porté par l'Université d'Oldenburg (Allemagne). Le projet TREASURE dont le nom complet est « *Targeting the reduction of plastic outflow into the North Sea* » regroupe 15 partenaires de 5 pays : l'Allemagne, la Belgique, le Danemark, la France et les Pays-Bas.

Ce projet de trois ans, vise à réduire les rejets de plastiques en Mer du Nord en s'appuyant sur cinq laboratoires vivants ou « Living labs » répartis au sein des différents pays. Dans le cadre de ces Living labs, des travaux vont être menés dans le but d'améliorer :

- les politiques publiques et la gouvernance,
- la collecte de données et l'évaluation de la pollution,
- la prévention et le changement des pratiques,

- la collecte et l'élimination des déchets plastiques.

Le Cedre s'implique dans TREASURE en coordonnant le pilier thématique : collecte et élimination des déchets plastiques. Par ailleurs, au sein du Living lab français qui couvre la façade des régions Bretagne, Normandie et Hauts de France, le Cedre va travailler sur la réduction des déchets dans les ports et les cours d'eau en réalisant une évaluation de la pollution, en identifiant les bonnes pratiques et les équipements de lutte existants et en développant des ressources pour accompagner la mise en place d'actions (formations, guides opérationnels, outils de sensibilisation...).



Plus d'informations sur
www.interregnorthsea.eu/treasure
ou sur www.cedre.fr

Interreg Atlantic Area



Co-funded by
the European Union

free litterAT



Le Cedre participe également au projet Interreg « Free LitterAT », porté par CETMAR (Espagne) visant à protéger la biodiversité en mettant en œuvre des approches innovantes afin de prévenir et réduire les déchets marins. Ce projet dont le nom complet est « *Advancing towards litter-free Atlantic coastal communities by preventing and reducing macro and microlitter* », est co-financé par le programme Interreg Atlantique. Il a été lancé en novembre 2023 et regroupe 24 partenaires et partenaires associés

issus de 4 pays : Irlande, France, Espagne et Portugal.

Dans le cadre de ce projet, le Cedre va notamment travailler sur le développement de nouvelles méthodes d'analyses des microplastiques, l'identification des sources de déchets marins, une évaluation globale de la pollution plastique dans la zone Atlantique et les bonnes pratiques de gestion des arrivages massifs et des zones d'accumulation de déchets

sur le littoral. Ce projet va permettre au Cedre de renforcer ses liens avec l'IFP Énergies nouvelles. Cet institut français de recherche et de formation dans les domaines de l'énergie, du transport et de l'environnement va contribuer au projet aux côtés du Cedre, dans le cadre du développement de méthodologies innovantes pour quantifier les microplastiques dans l'environnement. ■



Plus d'informations sur
www.atlanticarea.eu
ou sur www.cedre.fr

28^{ème} journée d'information du Cedre sur le risque chimique en mer

Par **Christophe Logette**, directeur du Cedre.

La journée d'information du Cedre s'est déroulée à La Défense le 21 avril 2024. TotalEnergies que nous tenons à remercier, hébergeait cette 28^{ème} édition. Organisée avec le soutien du Ministère de la Transition Ecologique et de la Transition des Territoires, la thématique retenue était celle du risque chimique en mer.

Le programme de la journée était dense et a permis de croiser plusieurs perspectives. Le Cedre exprime sa reconnaissance aux nombreux intervenants qui ont contribué au succès de cette journée. Plusieurs intervenants internationaux et étrangers, M. Gaute Siversten administrateur des FIPOL, M. François Marier représentant Canada à l'OMI, Mme Tonje Castberg des P&I Clubs, M. Frédéric Hébert de l'AESM et M. Teemu Niemellä de la garde-frontière finlandaise. Pour la partie française, le Secrétariat général de la mer, la Direction générale des affaires maritimes de la pêche et de l'aquaculture, le centre d'expertise pratique de lutte antipollution de la Marine nationale, CMA CGM, Yara Clean Energy, l'Inéris et bien entendu plusieurs ingénieurs du Cedre ont rythmé cette journée.

Centre d'assistance opérationnelle accomplis-



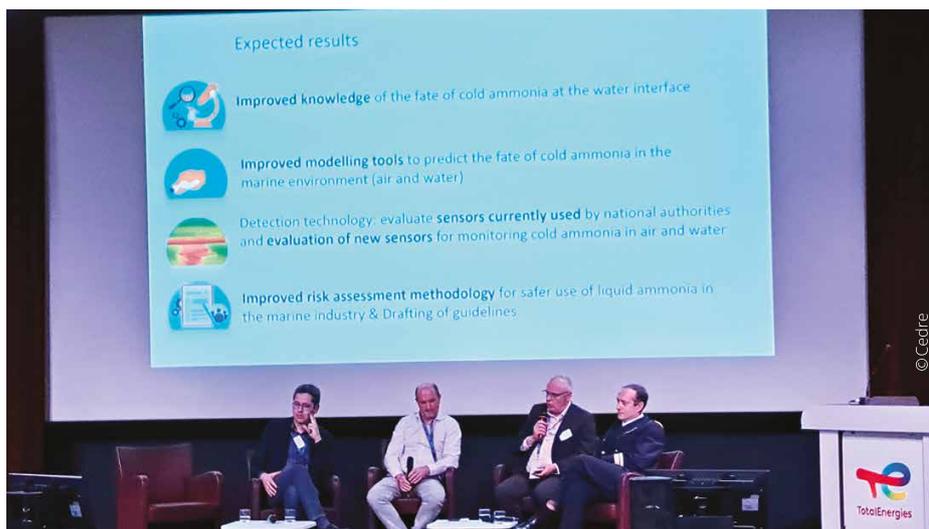
▲ Table ronde sur le risque chimique en mer avec le Secrétariat général de la mer, Transports Canada, les FIPOL, la DGAMPA, et un P&I Club, animée par le directeur du Cedre

sant une mission de service public, le Cedre répond 24/7 à toute demande de l'Etat ou des collectivités en cas de pollution ou de risque de pollution accidentelle des eaux. Le Cedre assure également ce service, en partenariat avec le CEFIC, au profit des pays de l'Union Européenne dans le cadre de MAR-ICE porté par l'Agence Européenne de Sécurité Maritime. Cette expertise est également développée au

profit d'acteurs publics étrangers ou d'acteurs privés, mais également des Nations-Unies dans le cadre de missions d'expertise ponctuelles.

Grâce à un programme permanent conduit avec la Marine nationale, le Cedre étudie depuis de nombreuses années le comportement et le devenir de nombreux produits chimiques en milieu marin, publie des guides opérationnels, des guides d'intervention chimique et des fiches d'intervention au profit des unités opérationnelles de la Marine nationale. Le Cedre participe par ailleurs, ou pilote directement, plusieurs projets portant sur le risque chimique financés par des programmes européens.

La préparation passe également par des formations et des exercices réguliers intégrant un déversement accidentel en mer de substances chimiques. Du fait de ses activités d'intervention et de formation, le Cedre y contribue fortement. ■



▲ Discussion des enjeux et difficultés de la propulsion à l'ammoniac avec INERIS, YARA, le CEPOL et le Cedre

IOSC 2024 : le Cedre était au rendez-vous

Par **Anne Ily**, Cheffe du service information et communication, Cedre.

Evénement incontournable pour tous les acteurs de la lutte antipollution, l'*International Oil Spill Conference* a célébré cette année son 25^{ème} anniversaire. Du lundi 13 au jeudi 16 mai 2024, le centre de convention Ernest N. Morial de la Nouvelle-Orléans (Louisiane) fut le rendez-vous de 1200 participants et plus de 360 exposants de la communauté internationale de lutte contre les pollutions par hydrocarbures, produits chimiques ou encore déchets plastiques.

Organisations internationales, agences gouvernementales, entreprises privées, associations, tous les secteurs étaient représentés afin d'échanger sur les grands enjeux de la lutte antipollution auxquels nous sommes ou serons confrontés. L'occasion de mettre en avant les avancées scientifiques, la recherche mondiale et les innovations opérationnelles. Cette conférence fut également le point de rencontre pour des entrepreneurs, chercheurs, industriels et autres parties prenantes, facilitant les mises en relation pour travailler ensemble à la réalisation d'objectifs communs grâce aux échanges d'idées et enseignements tirés des interventions et des recherches sur les déversements accidentels dans le monde entier.

Comme sur les éditions précédentes, le Cedre était au rendez-vous ! Sept collaborateurs s'y sont rendus pour animer un stand d'exposition situé à côté des membres du Sycopol, le syndicat d'entreprises françaises antipollution, et présenter six conférences :

- Taux d'évaporation des SNPD volatiles : une expérience à l'échelle du laboratoire au service de la lutte contre la pollution marine ;

- Développement des connaissances sur la lutte contre la pollution par les granulés plastiques industriels ;

- Étude de la préparation à la réponse antipollution dans les ports européens et méditerranéens et identification des bonnes pratiques et des principales lacunes ;

- Devenir et comportement des diesels (B0, B10, B30) et des biodiesels (FAME, HVO) en cas de déversement accidentel ;

- Évaluation des équipements de lutte contre les déversements ;

- Évaluation des performances des drones en cas de pollution maritime par une approche intégrée lors d'essais en mer avec déversement de produits chimiques.



La prochaine rencontre internationale aura lieu du 8 au 10 avril 2025 à Londres à l'occasion d'INTERSPILL, où le Cedre sera bien impliqué dans l'organisation et l'animation de la conférence.

EXTRAIT DE LA LETTRE TECHNIQUE EAUX INTÉRIEURES N°31

Fuite de pipeline : impact d'un produit léger en environnement confiné (Meraux Pipeline, Chalmette, Etats-Unis)

Le 27 décembre 2021 dans la Paroisse de St. Bernard (Nouvelle-Orléans, Louisiane), la rupture d'un pipeline (Meraux Pipeline) vieux de 42 ans et exploité par Collins Pipeline Co. (filiale de PBF Energy, opératrice de la raffinerie voisine de Chalmette) a causé le déversement de près de 1 200 m³ de gazole à faible taux de soufre (ULSFD) sur les sols d'un terrain privé, qui se sont écoulés dans deux lacs d'excavation proches.

La lutte antipollution a été mise en œuvre sous la coordination du *Louisiana Oil Spill Coordinator's Office*, en lien avec les diverses agences louisianaises (*Department of Environmental Quality - LA-DEQ*, et *Department of Wildlife & Fisheries - LA-DWF*) et fédérales (*Pipeline & Hazardous Materials Safety Administration - PHMSA*, *US Fish & Wildlife - USFW*, ...) concernées, et les représentants du propriétaire foncier et de l'industriel.

Sous la supervision des autorités de l'Etat et du gouvernement fédéral, l'entreprise achevait, 15 jours plus tard, les opérations de collecte du pétrole flottant, en annonçant un bilan de récupération de plus de 1 100 m³ d'un mélange de fioul et d'eau.

Ces travaux, qui ont impliqué le déploiement de barrages flottants, de barges récupératrices et de têtes d'écumage individuelles, ont porté sur les épaisseurs « récupérables » de fioul : le piégeage de gazole résiduel, émulsionné, dans la végétation des berges a donné lieu à des irisations qui ont perduré au-delà de la fin de ce nettoyage du gros de la pollution libre.

Selon la *Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration* (PHMSA), une inspection de la conduite effectuée plus



^ Collecte des épaisseurs de gazole accumulées sur les rives par récupérateurs à tambours oléophiles (Source : Louisiana Department of Environmental Quality)

d'un an plus tôt en avait révélé une corrosion externe, plus ou moins prononcée (altération maximale de 75% de l'épaisseur de la paroi), ceci au sein d'un linéaire de sept mètres incluant le point de rupture. Les travaux de réparation avaient été cependant reportés après qu'une deuxième inspection ait conclu à une dégradation ne requérant pas, selon la réglementation fédérale, à une réparation immédiate. PBF Energy a, de son côté, indiqué avoir : réduit la pression à l'intérieur de la canalisation dès la découverte du linéaire corrodé ; et déclaré aux autorités fédérales, deux mois à peine avant l'accident, être en attente de l'approbation des travaux envisagés pour traiter la section corrodée. Contexte dans lequel l'opérateur a en outre affirmé qu'il avait encore abaissé la pression dans le pipe, quelques semaines avant la fuite.

A noter que la typologie du déversement, soit un afflux relativement important d'un hydrocarbure à forte teneur en composés légers dans un milieu confiné, a généré d'importants impacts toxiques, traduits par des mortalités de poissons (plus de 2 000 individus) et d'autres espèces (une quarantaine de serpents, une trentaine d'oiseaux, notamment), sur la végétation des rives et de la faune. Environ 130 spécimens divers (70 alligators, une douzaine de tortues, 20 oiseaux et autant de serpents, ...) ont, en outre, été capturés pour réhabilitation dans un centre de soins établi et supervisé par la société spécialisée *Wildlife Response Services* (en concertation avec le LAWF).

EXTRAIT DE LA LETTRE TECHNIQUE EAUX INTÉRIEURES N°31

Pollution par fuite de pipeline en milieu rural (Bashneft, République du Bachkortostan, Fédération de Russie)

Le 1^{er} avril 2021 en Fédération de Russie, à proximité du village de Pavlovka (district de Bizhbulyaksky, République du Bachkortostan), l'entreprise Bashneft (filiale de Rosneft) signalait le déversement accidentel d'environ 300 m³ d'un mélange de pétrole brut et d'eaux chargées, à partir d'un oléoduc associé au champ pétrolier de Skhapovskoye. Cette annonce de l'opérateur est intervenue après que des riverains, et des agents du Ministère des Situations d'urgence (EMERCOM) de la Région (Oural), aient diffusé des photographies de la pollution.

Selon EMERCOM, l'avarie (de cause non précisée) a entraîné la souillure des cours d'eau et de 350 m² de sols enneigés au voisinage du point de fuite. À défaut d'être détaillée dans nos sources d'informations, la lutte anti-pollution menée par les intervenants de Bashneft aurait notamment impliqué des opérations de confinement sur l'eau, d'une part, et d'excavation des terres polluées, d'autre part.

Bashneft a fait savoir qu'aucun risque de contamination des réservoirs d'eau environnants n'était à signaler, et qu'entre 350 et 400 m³ de sols excavés avaient été retirés du site avant évacuation vers un centre de traitement du District d'Ishimbaysky. ■

Découvrez les autres sujets de la Lettre Technique eaux intérieures n°31 :

- Fuite de pipeline dans le Delta du Niger (ligne Trans Niger Okordia-Rumekpe, Nigéria)
- Déversement important d'effluents organiques à partir d'un bassin (Walkerville, Etats-Unis)
- Fuite de pipeline et pollution d'affluents de la Mer de Barents (Lukoil, République des Komis, Fédération de Russie)
- Déversement modéré de condensats en milieu sensible (pipeline Cox Oil LLC, Cameron Parish, Etats-Unis)
- Synthèse des déversements significatifs survenus dans le monde en 2021
- Déchets/débris flottants
- Poursuites, amendes
- Préparation à la lutte

Retrouvez la suite de cette Lettre Technique sur :



www.cedre.fr

Rubrique Ressources > Publications > Lettres Techniques

Ou flashez
le QR Code



A DÉCOUVRIR !

NOUVELLE FORMATION EN LIGNE



Une nouvelle formation est disponible sur la plateforme de formation en ligne : le Refresh « Lutte contre les pollutions accidentelles par hydrocarbures en mer et sur le littoral » équivalent Niveau OPRC/OMI 2.

Destiné aux personnes ayant préalablement suivi la formation initiale au Cedre, ce « refresh » reprend l'ensemble des thématiques proposées lors de la formation initiale et permet aux apprenants de remobiliser leurs compétences et connaissances afin d'assurer un maintien des acquis théoriques en matière de stratégies d'intervention et de techniques de lutte contre les pollutions accidentelles par hydrocarbures en mer et sur le littoral.

Inscrivez-vous sur elearning.cedre.fr

NOUVEAUX GUIDES

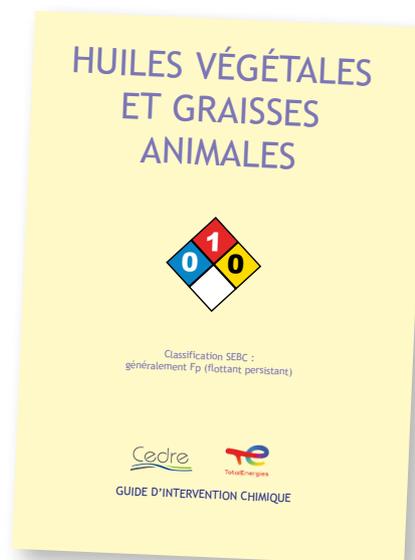


Guide opérationnel : intervention en récifs coralliens

Ce guide expose les aspects majeurs qu'il convient de connaître et de considérer quand il est question de lutter contre une pollution par hydrocarbures en environnement de récifs coralliens tropicaux. Il s'appuie principalement sur une revue bibliographique ainsi que sur l'expérience du Cedre en matière d'intervention en milieux tropicaux (ex : mangroves). ■

Guide d'intervention chimique : huiles végétales et graisses animales

Ce guide s'adresse aux opérationnels qui peuvent être confrontés à un déversement accidentel d'huile végétale ou de graisse animale en milieu aquatique. Il vise à leur apporter les informations utiles à la conduite de la lutte antipollution ou à l'élaboration de plans d'intervention pour faire face à un tel déversement. L'objectif de ce guide est de permettre un accès rapide aux informations de première nécessité et de fournir des sources bibliographiques pertinentes pour la recherche de données complémentaires. ■



Nos derniers guides Cedre sont disponibles sur notre site www.cedre.fr



Pour une version papier contactez-nous directement : documentation@cedre.fr



Basé à BREST
depuis plus de
45 ans



50 personnes

5,5

millions d'€ de budget

60

formations par an



EXPERT INTERNATIONAL EN POLLUTIONS ACCIDENTELLES DES EAUX

Eaux marines/Eaux intérieures/Hydrocarbures
Produits chimiques/Microplastiques/Macro-déchets
Autorités/Structures privées



Numéro d'urgence (24h/24)
+33 (0) 2 98 33 10 10



60 plans d'urgence
livrés ces 10 dernières
années

20 pays visités
chaque année

200 sollicitations
d'urgence par an

75 hydrocarbures
étudiés en 12 ans

Centre de ressources
documentaires reconnu

22 000
références

+ de **20** projets
multipartenaires
menés en 10 ans

RAYONNEMENT À L'INTERNATIONAL

VENIR AU Cedre



www.bibus.fr



GARE DE BREST
www.sncf.com



AÉROPORT BREST-BRETAGNE
www.brest.aeroport.bzh

Un site unique au monde avec un plateau technique de 2,5 ha



Centre de documentation,
de recherche et d'expérimentations
sur les pollutions accidentelles des eaux

715, rue Alain Colas - CS 41836 - 29218 BREST Cedex 2
Tél.: +33 (0)2 98 33 10 10
contact@cedre.fr - www.cedre.fr