

RAPPORT D'ÉTUDE

Mars 2021



**Les solutions techniques de localisation et de suivi  
des conteneurs tombés en mer**

DGITM - DAM

# Les solutions techniques de localisation et de suivi des conteneurs tombés en mer

## Historique des versions du document

Version	Date	Commentaire
1	28/04/2020	
2	18/11/2020	
3	05/03/21	Version publiable

## Affaire suivie par

<b>Smaïn HAMMACHE - EMF / IT / TT</b>
<i>Courriel : <a href="mailto:smain.hammache@cerema.fr">smain.hammache@cerema.fr</a></i>
<b>Site de Margny les Compiègne</b> : Cerema EMF 134, rue de Beauvais - CS 60321 - F-60280 Margny lès Compiègne Cedex

## Références

N° d'affaire : Nova 20-RE-0083 / 21-RE-0205

Maître d'ouvrage : Monsieur Marc LEGER, Adjoint A au Sous-Directeur de la Sécurité et de la Transition Écologique des Navires, Direction des Affaires Maritimes

N° de dossier :

Rapport	Nom	Date	Visa
Établi par	Smaïn HAMMACHE	15/02/21	
Avec la participation de	Fatiha EL MORABITI, Jean Matthieu FARENC		
Contrôlé par	Jean Matthieu FARENC, Michel COUSQUER, Jean Charles CORNILLOU		
Validé par	Fabrice DALY	15/03/21	

## Résumé de l'étude :

La présente étude est un état des lieux des solutions techniques existantes ou en projet permettant de localiser les conteneurs tombés en mer et suivre leur dérive. Elle expose des dispositifs de localisation utilisés pour la recherche de conteneurs ou pour d'autres usages proches (systèmes acoustique et/ou GPS, modèles de prévision de dérive) ainsi que des dispositifs de prévention permettant d'éviter les chutes. Elle montre, en outre, que les solutions de suivi de conteneurs actuellement sur le marché seraient inopérantes pour suivre la dérive d'un conteneur ou indiquer leur lieu d'immersion. Enfin, l'étude expose des solutions actuellement en développement pour suivre les conteneurs tombés en mer tout en mettant en évidence les limites d'ordres économique et logistique à leur mise en œuvre.

## SOMMAIRE

<b>CONTEXTE.....</b>	<b>5</b>
<b>1- ANALYSE PREALABLE.....</b>	<b>6</b>
1.1- Ampleur, causes & impacts du phénomène.....	6
1.2- Analyse des responsabilités.....	8
1.3- La procédure d’alerte et de neutralisation du danger.....	8
1.4- Les acteurs impliqués.....	12
1.5- La position des armateurs sur le tracking des conteneurs tombés en mer.....	13
<b>2- LES METHODES ACTUELLES.....</b>	<b>14</b>
2.1- La recherche des conteneurs.....	14
2.2- La récupération du conteneur.....	14
<b>3- LES SOLUTIONS TECHNIQUES.....</b>	<b>16</b>
3.1- les solutions de repérage et de localisation des conteneurs ou d’autres objets tombés en mer.....	16
3.1.1 - Les systèmes de repérage aujourd’hui utilisés pour localiser les conteneurs tombés en mer....	17
3.1.2 - Les systèmes existants mais non utilisés pour la recherche de conteneurs en mer.....	19
3.1.3 – Conclusion.....	20
3.2- Les modèles de suivi de la dérive des conteneurs.....	21
3.2.1 - Le modèle MOTHY.....	21
3.2.2 - Le modèle OSCAR.....	23
3.2.3 - Les modèle ACTIMAR : WERA et CURDRIFT.....	24
3.2.4 - L’expérimentation Lost Cont.....	26
3.2.5 - La solution eOdyn.....	27
3.2.6 – Conclusion.....	27
3.3- Les solutions de suivi de conteneurs par GPS.....	28
3.3.1 - Principe général de ces solutions.....	28
3.3.2 - Principe des technologies de géolocalisation utilisées par ces solutions.....	28
3.3.3 - Avantages & inconvénients des technologies de positionnement utilisées.....	31
3.3.4 - Quelques exemples de solutions de suivi de conteneurs utilisées pour optimiser la supply chain .....	32
3.3.5 - Conclusion.....	33
3.4- Les dispositifs en cours de développement spécifiquement pour l’alerte et le suivi des conteneurs en mer.....	34
3.4.1 – Les dispositifs identifiés.....	34
3.4.2 – Vers un dispositif d’alerte et de reporting valorisant les solutions de tracking existantes.....	35

3.4.3 – Les obstacles à la mise en place des solutions dédiées.....	36
3.4.4 <i>Mixage GPS/acoustique</i> .....	37
3.4.5– Conclusion.....	37
<b>4- CONCLUSIONS.....</b>	<b>39</b>
<b>5 – ANNEXES.....</b>	<b>41</b>
5.1 – Annexe 1 : Ressources.....	41
5.2 – Annexe 2 : liste des acteurs interrogés.....	42

## CONTEXTE

Créé en 1956 par Malcom McLean, le conteneur a révolutionné le commerce international. De 6 à 12 mètres de long, un conteneur peut peser jusqu'à 28 tonnes et contenir tout type de marchandises (produits manufacturés, liquide, vrac, marchandises dangereuses etc).

Interopérable par définition, le conteneur permet de transporter facilement d'un mode à un autre tout type de marchandises, réduisant ainsi drastiquement les coûts de transport. Alors qu'ils représentaient jusqu'à la moitié du coût total, ils ne constituent désormais que quelques pourcents. Selon un article de The Economist de 2013, le conteneur a augmenté le commerce entre les pays de 790% sur 20 ans. En comparaison, les accords de libre-échange l'augmentent de 45%, et l'appartenance à l'OMC de 285% sur la même période.

Avec le développement du trafic maritime conteneurisé, les chutes de conteneurs en mer ont augmenté. Provoquées par les intempéries ou par des sinistres (collisions, échouements), ces chutes constituent aujourd'hui une source de pollution des milieux marins et littoraux d'une part et des risques pour la navigation d'autre part. Pour illustration, en février 2014, pris en pleine tempête Ulla, le **Svendborg Maersk** a perdu 598 conteneurs au large des côtes bretonnes. Plusieurs d'entre eux ont dérivé le long de la voie de circulation montante du DST<sup>1</sup> des Casquets au large de Cherbourg, menaçant le trafic maritime important sur cette zone.

Dans son livre blanc « **Conteneurs à la mer ! 10 Propositions pour la prévention de la perte des conteneurs** » publié en 2019, l'ONG Surfrider foundation Europe indique que selon l'organisme « Cargo Incident Notification System », créé en 2015 par les cinq principaux armateurs maritimes mondiaux, les incidents en mer sont dus : dans 32 % des cas à des déclarations erronées, dans 27 % des cas à un déficit d'arrimage et d'emballage (dont des défauts du conteneur), et dans 17 % des cas à un emballage incorrect. Ces manquements ont des effets sur la planification du chargement et l'empilement des conteneurs et augmentent ainsi les risques de pertes en mer.

Face à l'ampleur croissante des conteneurs tombés en mer, la France milite auprès de l'Organisation Maritime Internationale (OMI) pour que soient étudiés les moyens de prévenir ce type d'événements. La France pousse l'OMI en particulier à :

- Instaurer un régime obligatoire de déclaration formatée de pertes de conteneurs (la convention MARPOL<sup>2</sup> oblige les capitaines de navires à déclarer les pertes de conteneurs mais son application reste limitée).
- Mettre en œuvre les mesures pour détecter et positionner les conteneurs perdus notamment dans les zones sensibles, telles que les zones de pêche. Il s'agit de faciliter leur récupération, ou en tout cas leur localisation s'ils ont coulé.
- Etudier sur les conditions d'arrimage et de saisissage des conteneurs à bord des grands navires.

### Objectifs de l'étude

Sur la base de ce contexte, l'étude vise à alimenter l'initiative de la France auprès de l'OMI en dressant les solutions techniques existantes ou possibles pour :

- Détecter les conteneurs tombés en mer depuis un navire,
- Suivre et localiser ces conteneurs.

1 DST : Dispositif de séparation de trafic

2 MARPOL : Convention internationale de 1973 pour la prévention de la pollution par les navires, telle que modifiée par les Protocoles de 1978 et de 1997

# 1- ANALYSE PREALABLE

## 1.1- Ampleur, causes & impacts du phénomène

### L'ampleur du phénomène

L'ampleur des pertes de conteneurs en mer est aujourd'hui difficile à appréhender compte tenu du grand nombre d'événements non déclarés par les armateurs. De ce fait, les chiffres varient grandement d'une source à une autre d'autant qu'il n'existe pas de méthode internationale partagée pour le suivi des pertes de conteneurs par les États. Les informations sont dispersées auprès d'organismes variés, ayant des champs de compétences territoriaux distincts. Les professionnels du domaine (assureurs, prestataires...etc.) n'ont souvent pas de données détaillées sur les cas de pertes de conteneurs. Les données issues des transporteurs tendent à en minimiser le nombre alors que celles des associations de défense de l'environnement tendent à le maximiser.

Ainsi, les opérateurs de transport maritime, à travers le World Shipping Council, organisme regroupant 20 armateurs et représentant 90% de la capacité mondiale de transport conteneurisé, estiment pour les années 2014 à 2016 une perte moyenne annuelle de **1 390 conteneurs**, contre 2 683 de 2011 à 2013. 44% sont tombés du navire au cours de la navigation et le reste à la suite d'événements dits "catastrophiques" comme une tempête.

L'association de défense de l'environnement **Robin des Bois** estime de son côté qu'il s'agit plutôt depuis 2007 de **"plusieurs dizaines de milliers conteneurs par an"** selon sa directrice Charlotte Nithart, dans des propos relayés par France Culture en janvier 2019.

Le Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (CEDRE) affiche une position intermédiaire et estime que **10 000 à 15 000 conteneurs vides et pleins sont perdus chaque année en mer.**

Néanmoins, quelle que soit l'estimation, ce chiffre reste relativement faible par rapport au volume des marchandises qui transitent dans le monde chaque année (évalué par le World Bank Group en moyenne annuelle à 575 millions de boîtes entre 2008 et 2013).

### Les causes du phénomène

Les pertes de conteneurs en mer sont souvent causées par des défauts d'arrimage des conteneurs au navire ou des conteneurs entre eux. Pour illustration, à cause d'un arrimage insuffisant, le **Med Taipei** a perdu 15 conteneurs en 2004 alors qu'il traversait une mer agitée de San Francisco à Los Angeles. Un rapport de la Garde côtière américaine révèle que d'une part les conteneurs étaient mal chargés à bord du navire, les soudures sur les points d'ancrage des conteneurs étaient défectueuses, et d'autre part, des anneaux en D manquaient sur le pont du navire.

### Les impacts du phénomène

Ce phénomène de chute des conteneurs induit de nombreux impacts que nous allons considérer successivement.

#### ✓ **Impacts sur l'environnement**

**Un conteneur perdu en mer devient un déchet et une source de pollution.** L'assemblée générale de l'OMI du 6 décembre 2017 a officiellement reconnu la perte de conteneurs en mer comme source de pollution plastique. En effet, il a été établi qu'à long terme, les matières plastiques se transforment en micro-plastique qui présentent une menace importante pour les



écosystèmes marins et par contrecoup pour l'industrie de la pêche. La durée des pollutions générées par les conteneurs perdus est longue.

Dans son guide opérationnel « Conteneurs et colis perdus en mer », le Cedre indique qu'un « conteneur vide en bon état se remplit d'eau et coule en 30 minutes environ ». Le conteneur peut générer des pollutions à cause de son contenu (plastique, produits chimiques) ou du conteneur lui-même (matériaux, revêtement, peinture).

Il peut mettre en danger les populations quand il dérive vers le rivage risquant de s'échouer sur les côtes en dispersant son contenu. C'est ce qui s'est produit, par exemple, en décembre 2017, suite au naufrage de l'un des plus gros navires du monde, le MSC Zoe (navire d'une capacité de 19 000 conteneurs). Alors qu'il naviguait du Portugal vers Bremerhaven en Allemagne, le navire a perdu au moins 270 conteneurs au large des Pays-Bas suite à une tempête. Après avoir dérivé en mer, les conteneurs ont été ramenés sur les côtes par les courants. Ils contenaient des marchandises très diverses (jouets en plastique, écrans plats, piles au lithium) ainsi que des matières dangereuses. Le cas de téléphones Garfield retrouvés sur des plages bretonnes illustre bien la problématique. Un porte-conteneur a fait naufrage dans les années 1980 au large du littoral breton. Depuis cet événement, des téléphones jouets Garfield contenus dans un des conteneurs tombés en mer s'échouent toujours sur les côtes 30 ans après le sinistre.

Même s'il ne contient pas de matière dangereuse, un conteneur peut être dangereux. Pour des raisons sanitaires et de lutte contre les parasites, un conteneur peut être sous fumigation. Ces fumigations sont létales pour l'homme, il est dangereux ainsi d'ouvrir un conteneur échoué sur le rivage sans l'avoir préalablement ventilé.

### ✓ **Impacts économiques**

#### *Pour l'industrie de la pêche et l'ostréiculture*

En dérivant ou en laissant échapper son contenu potentiellement toxique, le conteneur en mer peut impacter la ressource sur une zone donnée ou compromettre les exploitations situées à proximité des côtes (fermes aquacoles, ostréiculture etc).

#### *Pour les assurances*

Les pertes de conteneurs sont dommageables aux assureurs. L'avènement des portes conteneurs géants augmente le risque de sinistres plus importants pouvant générer des pertes colossales. D'après le rapport de l'Institut Français de la mer de 2009, les montants engagés dans les portes conteneurs géants sont énormes puisque :

- La valeur des très gros porte-conteneurs avoisine 250 millions de dollars.
- Les soutes embarquées ont une valeur de l'ordre de 8 millions de dollars,
- La valeur cumulée de cargaison sur une ligne Asie-Europe peut atteindre 1,5 milliards de dollars.

Le rapport indique qu'une collision entre deux porte-conteneurs pourrait coûter 100 % de la prime mondiale (perte totale corps et marchandises). Depuis 2009 le risque a encore augmenté, les plus grands navires peuvent transporter 22 000 EVP contre 15 000 EVP à l'époque.

#### *Pour l'activité touristique des régions littorales lors d'échouement de conteneurs*

Les plages et les exploitations touristiques de bord de mer peuvent être temporairement fermées en cas d'échouement sur le littoral, avant que les opérations de nettoyage aient pu être menées.

## ✓ **Impacts sur la sécurité de la navigation**

Le comportement du conteneur dans l'eau sera différent selon ses caractéristiques et selon celles des marchandises qu'il contient et la façon dont celles-ci ont été installées dans le conteneur.

Certains flottent en surface puis dérivent pendant plusieurs semaines voire plusieurs mois pour les conteneurs les plus étanches, tels les conteneurs frigorifiques et les citernes vides, ou ceux dont le contenu flotte. D'autres, moins étanches restent quelques semaines entre deux eaux avant de couler. Ce cas est le plus dangereux notamment pour les petites embarcations, les bateaux de pêche, ou les voiliers, avec des risques importants pour la vie des équipages. Ces conteneurs sont extrêmement difficiles à détecter par les marins. Beaucoup de collisions avec des objets flottants non identifiés (OFNI) ont été enregistrées. Le 27 octobre 2015, lors de la transat Jacques Vabre, un trimaran a heurté un conteneur et son équipage a dû abandonner la course.

Une fois que les conteneurs sombrent dans les fonds marins, ils représentent toujours "un risque de croche et de naufrage" pour les chalutiers, note l'association Robin des Bois dans son Atlas de la France toxique (éd. Arthaud, 2016).

## **1.2- Analyse des responsabilités**

### **Le statut juridique du conteneur perdu en mer**

Le conteneur tombé à la mer est considéré comme une épave et se voit de fait appliquer le régime propre aux épaves maritimes. Si le conteneur est vide, il est considéré comme un débris de navire. S'il est plein avec un contenu inconnu, par précaution, on traite le conteneur comme s'il contenait des matières dangereuses. S'il est plein avec une marchandise connue, il peut s'agir d'une marchandise dangereuse ou non dangereuse.

### **La responsabilité du propriétaire**

Un amendement à la convention SOLAS<sup>3</sup> a été adopté par l'OMI en 2014 pour rendre obligatoire la vérification de la masse brute des conteneurs empotés par l'armateur. Celui-ci est tenu de fournir cette déclaration pour chaque expédition sous peine d'interdiction de transporter le conteneur en question.

## **1.3- La procédure d'alerte et de neutralisation du danger**

Les éléments présentés dans cette partie sont pour la plupart issus du mémoire de Master 2 de Grégory Martin-Dit-Neuville (Université de Droit et Sciences politiques Aix-Marseille III), « Les conteneurs tombés à la mer », réalisé en 2009.

L'organigramme suivant présente la procédure suivie en France pour neutraliser le danger occasionné par un conteneur tombé en mer.

3 SOLAS : Convention internationale de 1974 pour la sauvegarde de la vie humaine en mer, telle que modifiée



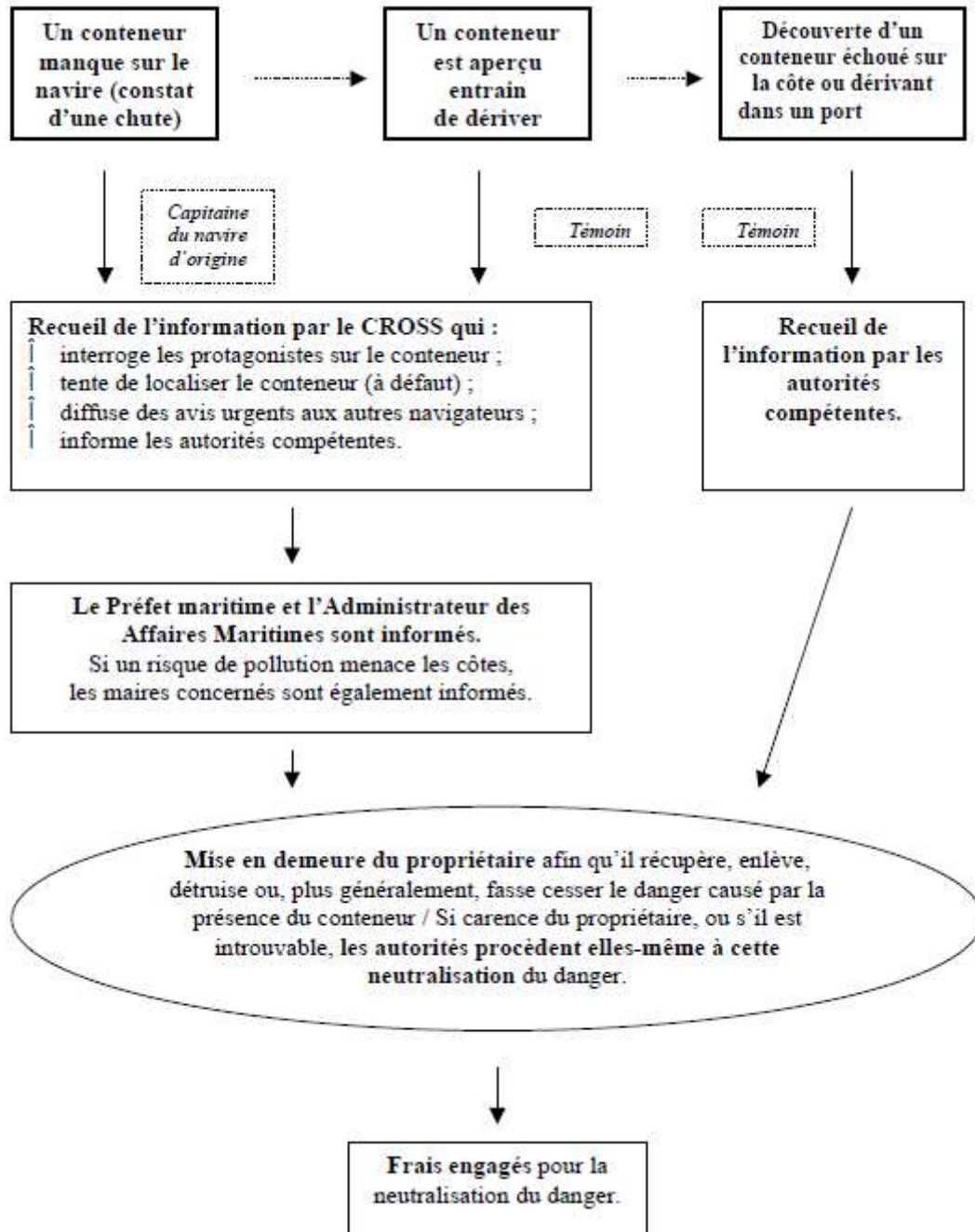


Figure 1: procédure suivie en France pour neutraliser le danger occasionné par un conteneur tombé en mer.  
Source : Grégory Martin-Dit-Neuville, 2009.

De façon plus générale, au-delà de la France, la neutralisation du danger se fait en 3 étapes principales, qui vont être détaillées par la suite :

- Le constat de la chute du conteneur,
- Le signalement,
- Les interventions de localisation d'abord, puis de suivi et de récupération ensuite.

## **Le constat de la chute de conteneurs à la mer ou de leur dérive**

Le capitaine en cas de chute de conteneurs en mer doit prendre les mesures suivantes :

- Rejoindre si possible le port le plus proche pour arrimer les conteneurs transportés.
- Etablir un « rapport de mer » qui rend compte des faits et événements qui se sont déroulés durant le voyage. En cas de chute de conteneur, il doit mentionner les informations liées à l'événement (lieu de la chute, l'heure, les conditions météorologiques, le nombre de conteneurs concernés, le contenu des boîtes si connu - matières dangereuses ou non...-, l'état de la cargaison à bord, les mesures prises, la déclaration à l'Etat côtier et à l'armateur...)
- Signaler et l'événement aux autorités maritimes compétentes sur la zone où s'est produite la chute de conteneurs.
- Informer par tous les moyens les autorités compétentes les plus proches pour mener les actions appropriées (convention SOLAS).
- Alerter l'armateur du navire qui pourra faire dérouter le navire à proximité pour constater le nombre et le contenu des conteneurs tombés et faire vérifier la marchandise, l'arrimage et les conditions de sécurité. Sur la base de ces informations, l'armateur contactera les acteurs impliqués par les différentes chutes et les marchandises perdues (Administrations, propriétaire réel, destinataires, transporteur...).

En cas de découverte du conteneur par un tiers extérieur au navire, la réglementation qui régit les épaves oblige le découvreur de mettre en sûreté le conteneur dans la mesure du possible et de le signaler aux autorités maritimes dans les 48 heures.

Si le conteneur contient des matières dangereuses, le découvreur doit alerter les autorités maritimes et celles-ci intervenir le plus vite possible. Les frais liés aux opérations d'enlèvement et de sécurisation du conteneur doivent être pris en charge par le propriétaire dès lors qu'il est identifié.

## **Le signalement**

En France, les services en charge de la surveillance du trafic maritime sont les Centres régionaux opérationnels de surveillance et de sauvetage (CROSS).

Le CROSS [ou centre de surveillance]:

- Recueille le signalement lié aux conteneurs tombés à la mer,
- Centralise et analyse ces informations,
- Transmet l'information aux navigateurs
- Informe les autorités compétentes et les navires se trouvant sur les zones de dérive potentielle des conteneurs,
- Transmet ces informations aux centres d'expertise (Cedre pour le cas de la France), aux organismes météo (Météo France) et aux autorités désignées par les Etats concernés ainsi qu'à la justice du pays compétent si le navire a été identifié.

Le CROSS prend ensuite les mesures nécessaires à la neutralisation des conteneurs tombés à la mer. Ainsi, sous l'autorité du Préfet maritime (Premar) il va :

- Estimer les dangers (notamment de pollution) que peuvent présenter les marchandises contenues dans les conteneurs,
- Estimer la dérive des conteneurs,
- Lancer et coordonner les opérations de recherche et de suivi des conteneurs, en lien avec les autorités maritimes. Le CROSS n'est pas compétent pour gérer la récupération des

- conteneurs même s'il intervient notamment pour la gestion de la navigation durant ces opérations,
- Informer les collectivités littorales en cas d'échouement sur les côtes.

### **Le suivi, la récupération et/ou la destruction du conteneur qui dérive en mer**

Après le signalement du CROSS, plusieurs acteurs interviennent pour :

- Mettre en œuvre les moyens de localisation et de suivi des conteneurs tombés en mer (navires, aéronefs, plongeurs, équipements de recherche).
- Estimer les itinéraires de dérive des conteneurs en s'appuyant sur des modèles de prédiction de dérive (tel que MOTHY [et MOTHY Leeway] de Météo France).
- Prévoir les conditions météo qui conditionnent le bon déroulement des opérations de recherche et de récupération des conteneurs.

Le propriétaire du conteneur a l'obligation de neutraliser par tout moyen le danger que peut occasionner la dérive de son conteneur. S'il n'est pas identifié, les opérations de neutralisation du danger sont prises en charges par les autorités maritimes compétentes.

Suite à ces opérations, le conteneur est alors soit :

- Récupéré en étant saisi par les câbles d'un remorqueur qui le mènera ensuite vers un site sécurisé. S'il ne contient pas de marchandises dangereuses, le conteneur peut être treuillé et hissé à l'arrière du remorqueur grâce à l'intervention d'un plongeur.
- Coulé vers le fond s'il n'y a ni risque de pollution ni problème occasionné à la navigation et aux activités de pêche.
- Détruit par explosifs.

### **La responsabilité des armateurs**

La réglementation oblige l'armateur à mettre en œuvre et à financer, sauf cas de force majeure, les opérations de recherche et d'évacuation aux côtés des autres acteurs (autorités maritimes, entreprises de remorquages etc).

## 1.4- Les acteurs impliqués

Nous allons considérer les principaux acteurs impliqués, en distinguant ceux impliqués dans la procédure d'alerte et de neutralisation des risques d'une part, et les acteurs concernés par la réglementation, la sensibilisation et le suivi des conteneurs perdus en mer d'autre part.

### La procédure d'alerte et de neutralisation des risques

Les principaux acteurs sont :

- Les centres de surveillance du trafic (CROSS pour le cas de la France) et les autorités maritimes concernées (Préfectures maritimes en France) pour la détection et les messages d'alerte;
- Les acteurs intervenant pour l'expertise et l'accompagnement technique (le Cedre, Météo France);
- Les autorités judiciaires : en France, le procureur de la République est compétent si le navire a été formellement identifié. Il s'agit d'une *infraction au titre de la pollution en mer* ;
- Les opérateurs intervenants dans la recherche, le suivi et la récupération : marine nationale, sociétés de remorquage, sociétés spécialisées dans les interventions et la recherche en mer etc

### La réglementation, la sensibilisation et le suivi des conteneurs perdus en mer

#### ✓ **L'OMI et la DG Mare**

L'*Organisation maritime internationale (OMI)*, à travers son sous-comité "Carriage of Cargoes and Containers" (CCC) est compétente pour réglementer la gestion des pertes de conteneurs en mer. Les Etats font respecter la réglementation internationale en cours visant à prévenir les pertes de conteneurs en mer (notamment la convention MARPOL qui oblige les capitaines à déclarer les avaries et incidents qui touchent leur navire).

La Direction **DG MARE** est chargée d'élaborer et de mettre en œuvre les politiques maritimes et pêche de la Commission européenne qui ont pour objectif de :

- Veiller à ce que les ressources des océans soient exploitées de manière durable et que les communautés côtières et le secteur de la pêche aient un avenir prospère ;
- Promouvoir les politiques maritimes et encourager une économie bleue durable ;
- Promouvoir la gouvernance des océans à l'échelle internationale.

**La DG MARE** a tenu un atelier le 4 juillet 2019 sur la problématique des conteneurs tombés en mer. L'objectif était d'établir un état d'avancement sur les moyens permettant de prévenir les pertes de conteneurs en mer et d'en limiter les impacts sur l'environnement.

#### ✓ **Les centres d'expertise : le Cedre**

**Le Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux (Cedre)** est une association à but non lucratif créée en 1979 dans le cadre des mesures prises suite au naufrage du navire pétrolier Amoco Cadiz.

Il a pour mission de fournir, aux autorités françaises ou étrangères ainsi qu'à des structures privées, du conseil et de l'expertise pour la gestion des pollutions accidentelles. Cette mission porte tant sur les eaux marines que sur les eaux intérieures et concerne tous types de polluants (hydrocarbures, produits chimiques, déchets marins...). Le Cedre propose :

- Une assistance 24h/24 (en dispensant en cas d'accident des informations sur le polluant et les techniques de lutte adéquates),
- Des activités de recherche,
- Des analyses et tests,
- De la formation.

## ✓ **Les organisations non gouvernementales**

Nombre d'ONG œuvrent pour la sensibilisation aux impacts des débris en mer et pour la prévention des incidents. Les plus actives autour de la problématique des conteneurs tombés en mer sont les associations Surfrider foundation Europe et Robin des Bois.

**Surfrider Foundation Europe** est une association à but non lucratif (loi 1901), ayant pour but « la défense, la sauvegarde, la mise en valeur et la gestion durable de l'océan, du littoral, des vagues et de la population qui en jouit ». Créée en 1990 à Biarritz à l'initiative de surfeurs, Surfrider Foundation Europe fait partie d'un réseau mondial d'associations régionales et de représentations locales présentes sur tous les continents (Amérique, Europe, Japon, Australie, etc.). L'ONG a développé une expertise dans le domaine du transport maritime, notamment sur la problématique des pollutions par les navires.

Créée en 1985, **Robin de bois** est une association loi 1901 qui a pour vocation la protection de l'Homme et de l'environnement par toutes formes de réflexion et d'actions non violentes. Elle agit pour la préservation de l'environnement marin et contre la criminalité environnementale, des risques, des déchets et des sites pollués.

## **1.5- La position des armateurs sur le tracking des conteneurs tombés en mer**

De façon générale, les armateurs considèrent que :

- La majorité des pertes de conteneurs sont dues à des fausses déclarations de poids.
- L'obligation de déclaration de perte de conteneur en mer par l'armateur doit être respectée au niveau international
- Aujourd'hui, les seuls dispositifs permettant de signaler la présence d'un conteneur perdu à la mer à plusieurs mètres de profondeur sont des balises avec filins à des coûts prohibitifs
- Les technologies actuelles ne permettent pas de récupérer des conteneurs au-delà d'un certain poids, ni au-delà d'une certaine profondeur.

La position des armateurs transparaît dans le rapport « *Les très grands navires : questions et pistes de réponses* » publié par l'Institut Français de la Mer (IFM) en 2009.

Elle consiste à considérer qu'un gros navire étant très coûteux, il ne sera d'une part abordable que par un grand groupe ayant un dispositif de maintenance et d'armement de qualité et d'autre part ce dernier "prendra soin" de ce navire.

A travers l'Union des armateurs de France, les armateurs déclarent officiellement "*Nous sommes en faveur des propositions visant à mettre en place une déclaration obligatoire des conteneurs perdus en mer. Nous restons cependant très prudents concernant d'éventuelles dispositions relatives au tracking, surtout pour le coût que cela pourrait représenter. Plus largement, d'après nous la problématique majeure reste toujours celle des fausses déclarations de poids. Le VGM<sup>4</sup> (Masse Brute Vérifiée - MBV) n'ayant pas résolu les problèmes.*"

4 Depuis le 1er juillet 2016, les réglementations SOLAS imposent l'utilisation de 2 méthodes certifiées conformes pour déclarer la VGM (MBV en français) de chaque conteneur par le chargeur ou son représentant.

## 2- LES METHODES ACTUELLES

### *(Utilisées pour localiser et récupérer les conteneurs tombés en mer)*

Au signalement d'une chute de conteneurs en mer, le centre de surveillance maritime (CROSS en France) alerte l'ensemble des acteurs concernés ainsi que les navires se trouvant sur l'itinéraire de dérive potentielle des boîtes.

#### 2.1- La recherche des conteneurs

Les autorités maritimes déploient des moyens de recherche aériens (hélicoptères ou avions) pour effectuer des reconnaissances visuelles sur la zone de dérive potentielle. Les zones de recherche sont établies en fonction des prévisions de dérive établies par les modèles de prédiction (type MO-THY de Météo France).

En parallèle, un ou plusieurs navires peuvent être dépêchés pour la recherche et la récupération des boîtes. Il peut s'agir de remorqueurs d'intervention, d'assistance et de sauvetage (RIAS) affrétés par l'Etat.

Lorsqu'un conteneur flottant est repéré, il va faire l'objet d'un marquage, qui permet de le signaler et le rendre visible auprès des navires à proximité, et d'un balisage afin de le suivre pendant sa dérive, au moyen notamment d'une bouée GPS qui peut être déployée depuis un hélicoptère ou depuis un navire. Le principe sera détaillé dans la partie 3.2, solutions de repérage.

Pour les conteneurs coulés, l'investigation se fait en général si la zone de sinistre s'avère dangereuse pour la navigation ou si le conteneur présente des risques de pollution en mer ou sur le littoral. Les recherches de conteneurs sous l'eau se font le plus souvent par imagerie sonar depuis un navire ou au moyen de drones sous-marin équipés de sonar qui cartographient le secteur de recherche. Le principe sera détaillé dans la partie 3.2, solutions de repérage.

#### 2.2- La récupération du conteneur

Les conteneurs immergés localisés sont remontés en surface via des élingues tirées depuis un remorqueur ou au moyen de ROV (Remotely Operated underwater Vehicle) qui les accrochent et qui pour certains déploient un dispositif de ballons d'air qui leur permet de remonter en surface en tractant le conteneur.

Arrivé en surface, le conteneur peut être monté sur le remorqueur au moyen d'une grue embarquée ou il peut être tiré par le bateau jusqu'à la zone où il sera déposé.

##### **Illustration**

Un conteneur a été localisé puis récupéré le 1<sup>er</sup> mars 2014 par le remorqueur de la marine nationale au large du Cotentin.

Au début de l'opération, un hélicoptère des Douanes signale vers 11h au CROSS Jobourg la présence d'un conteneur à 60 milles de Cherbourg qui présente un danger pour la navigation, car situé à proximité de la voie de circulation montante du DST des Casquets.



Le préfet maritime a ordonné la mobilisation du remorqueur d'intervention, d'assistance et de sauvetage (RIAS) Abeille Liberté. Entre temps, le conteneur s'est coupé en deux. Le remorqueur l'a retrouvé flottant verticalement peu après 18h puis l'a chargé à son bord pour l'acheminer au port de Cherbourg où il est arrivé vers 23 heures.

La préfecture maritime a par la suite établi qu'il provenait du Maersk Svendborg qui l'avait perdu au large de la Bretagne le 14 février 2014. Le conteneur a ensuite été récupéré par l'armateur qui a dû prendre à sa charge l'ensemble des frais liés à la récupération du conteneur.

## 3- LES SOLUTIONS TECHNIQUES

Quatre catégories de solutions techniques existantes ou en projet ont fait l'objet d'investigation par la présente étude :

- Les **solutions de repérage/localisation** de conteneurs ou d'autres objets tombés en mer : *dispositifs permettant de préciser l'emplacement d'un conteneur en surface ou sous l'eau ou dispositifs existants pour d'autres usages et utilisables pour la localisation et le suivi des conteneurs tombés en mer.*
- Les **modèles de suivi de dérive** des conteneurs en mer : *ces modèles, existants et en projet, permettent de déterminer les probabilités de localisation à partir des données de courantologie, météo etc.*
- Les **solutions de suivi par GPS** : *technologies utilisées dans une optique de suivi et d'optimisation des chaînes logistiques.*
- Les **solutions d'alerte et de suivi spécifiques aux conteneurs tombés en mer** : *les dispositifs en cours de développement présentés ciblent spécifiquement l'alerte en cas de chute de conteneurs d'un navire et le suivi de leur dérive.*

### 3.1- les solutions de repérage et de localisation des conteneurs ou d'autres objets tombés en mer

Le repérage de conteneurs perdus en mer se fait aujourd'hui par reconnaissance aérienne, pour les conteneurs qui dérivent, ou depuis un navire pour les conteneurs qui ont coulé. Différents moyens sont possibles :

- En cartographiant les fonds sous-marins des zones où le conteneur est susceptible d'avoir coulé à l'aide de drones sous-marins,
- En lançant un dispositif de bouées GPS de marquage que l'on agrippe au conteneur en dérive (bouée, balise GPS et aimant, le tout attaché à un flotteur).

En outre, on utilise des capteurs et des simulateurs pour aider à localiser les conteneurs en mer (capteurs aéroportés, simulateurs multi-capteurs).

Il existe d'autres types de solutions de balisage qui ne sont pas aujourd'hui utilisées pour la problématique des conteneurs notamment pour des raisons de coûts :

- Les systèmes de balisage acoustique adossables aux conteneurs (via un pinger),
- Les systèmes de géolocalisation pour engins de pêche,
- Les systèmes de pop-up tags utilisés pour localiser des événements sous-marins.

### 3.1.1 - Les systèmes de repérage aujourd'hui utilisés pour localiser les conteneurs tombés en mer

#### Les systèmes de cartographie des fonds sous-marins

##### ✓ **Contexte**

Lorsqu'une zone d'immersion probable de conteneurs a été identifiée, les autorités maritimes déploient fréquemment des drones sous-marins afin de cartographier les fonds par image sonar.

Plusieurs industriels proposent aujourd'hui ce type de produits et de service comme les sociétés ECA Group ou Subsea tech. Ces deux sociétés font partie du consortium retenu pour la sécurisation des épreuves nautiques des JO 2024 dans la rade de Marseille. Aux côtés de 5 autres industriels (ALSEAMAR, Ifremer, CLS, iXblue et Naval Group), elles seront chargées de déployer des drones qui scanneront les fonds marins et surveilleront la surface de l'eau. Ce dispositif de sécurité entre ciel et mer devrait être opérationnel d'ici 2023.

##### ✓ **Descriptif**

La procédure de localisation de conteneurs par imagerie sonar se fait en général en 2 étapes :

**1<sup>ère</sup> étape** : Scan du fond marin

Le relevé est effectué en utilisant un sondeur multifaisceaux installé sur une embarcation ou sur un drone de surface.

L'obtention des coordonnées de localisation précise XYZ est permise par un dispositif constitué d'un sonar, d'un système de navigation, d'une sonde de vitesse du son et d'un système de positionnement GPS. Le dispositif permet en temps réel de collecter en même temps des données d'infrastructures de fond et des données sous-marines sur un rayon de 100 m, même en cas de visibilité nulle.

La cartographie obtenue montre l'ensemble de la zone observée et la position exacte des conteneurs avec leurs coordonnées de localisation (à 10 cm près).

Le système offre une modélisation 3D du conteneur identifié, ce qui permet de connaître la façon dont il est posé sur le fond et ainsi de prévoir le mode de récupération le plus pertinent.

**2<sup>ème</sup> étape** : Visualisation du conteneur sous l'eau

La localisation et la configuration du conteneur immergé sont confirmées visuellement par le déploiement d'un mini-ROV (depuis l'embarcation ou le drone de surface). Le navire déployé pour la récupération du conteneur reçoit toutes les informations nécessaires aux opérations (la position du conteneur, les images et les vidéos prises par le mini-ROV). Ces informations permettent au remorqueur d'accéder plus facilement à la zone où se trouve le conteneur immergé et de préparer les opérations de récupération (en déployant des plongeurs et des équipements nécessaires à l'accrochage).

Un système de positionnement équipant les plongeurs guide ces derniers vers le conteneur immergé et permet au navire de localiser en temps réel les plongeurs.

## Les systèmes de bouées géolocalisées

### ✓ **Contexte**

Ces bouées sont utilisées par le Centre d'expertises pratiques de la lutte antipollution (CEPPOL) de la marine nationale pour marquer les conteneurs en dérive qui ont été localisés.

### ✓ **Description**

Ce dispositif a été conçu par le major Christian Prigent, ancien marin militaire. Il est composé d'une bouée équipée d'une balise GPS et d'aimants puissants, permettant d'agripper le conteneur, le tout relié à un flotteur. Il peut être déployé à partir d'un navire ou d'un hélicoptère.

## Le projet RAPACE : Récupération Assistée par Capteurs Aéroportés

### ✓ **Contexte**

Labellisé en 2005 par le Pôle mer Méditerranée, le projet était porté par la société marseillaise GEOCEAN, en partenariat avec deux autres entreprises des Bouches-du-Rhône, Cybermetix et Thomsea, et plusieurs centres d'études et de recherche : le Cedre, EIGSI (La Rochelle), LNE (Paris) et le CEPPOL.

Le projet a pour objectif la localisation d'objets perdus sur de vastes étendues sans faire appel aux moyens aériens classiques, coûteux et peu disponibles. Le groupement propose un dispositif de capteurs aéroportés qui identifient rapidement les boîtes perdues et la pollution qui peut s'en échapper. Le projet a donné lieu à deux démonstrateurs réalisés et testés.

La solution a été commercialisée et une nouvelle version, RAPACE 2, a été labellisée en 2009 par le Pôle mer Méditerranée.

### ✓ **Descriptif**

RAPACE est basé sur un engin volant, lancé depuis une embarcation à une altitude de 150 mètres.

Le système intègre plusieurs types de capteurs lui permettant de produire des images aériennes géolocalisées sur un rayon de 1 mille autour de l'embarcation. L'engin volant peut être maintenu sur une position et une altitude fixe pendant un temps important et sans intervention de l'opérateur.

Le projet RAPACE 2 a amélioré l'outil en rendant son usage plus facile et sans nécessité de formation préalable. Le capteur embarqué permet de :

- Surveiller différentes zones cibles : sites industriels, forêts, ports, pipelines...
- Repérer et identifier des objets (individus, véhicules, nappes polluantes, conteneurs...)
- Géoréférencer ces objets
- Guider des équipes d'intervention vers les objets identifiés.

### ✓ **Pertinence**

Le dispositif permet de réduire les coûts de recherche grâce à l'usage d'équipements légers.

### 3.1.2 - Les systèmes existants mais non utilisés pour la recherche de conteneurs en mer

#### Le balisage acoustique

##### ✓ **Contexte**

Plusieurs industriels proposent des systèmes de balisage acoustique constitués d'un émetteur (un pinger) et d'un récepteur (hydrophone). Ce dispositif est par exemple utilisé pour localiser les boîtes noires d'avion suite à des crashes en mer. Il est également utilisé pour suivre et tracer des animaux marins.

Les sociétés qui proposent ces solutions sont entre-autres RJE, iXblue, Sonardyne.

##### ✓ **Description**

L'objet à rechercher est équipé d'un pinger qui a en général une portée de 3000m. Celui-ci peut être repéré par l'hydrophone (capteur acoustique passif) qui est déployé en surface depuis une ou plusieurs vedettes. Le pinger s'active au contact de l'eau. Alimenté par une pile, il a une durée d'autonomie allant de 15 jours à 90 jours. Avec les hydrophones, les vedettes localisent l'objet par triangulation.

##### ✓ **Tarif**

Un kit d'hydrophone est commercialisé entre 15 000 et 50 000 €. Un pinger coûte lui en moyenne autour de 2 000 €.

##### ✓ **Intérêts**

Ce dispositif est complémentaire à l'imagerie acoustique par drone sous-marin. Généralement, lors d'une recherche de localisation, ce système d'écoute acoustique est utilisé dans un premier temps. Une fois la présence de l'objet détectée, on déploie un drone sous-marin pour scanner le fond et investiguer la zone.

##### ✓ **Limites**

Le prix d'un pinger est relativement élevé. Néanmoins, pour des grandes séries, des effets d'échelle seraient probablement envisageables, générant ainsi des prix unitaires plus bas. La portée d'un pinger est limitée à 3000 m, ce qui peut être insuffisant pour un objet qui a coulé en pleine mer.

#### Les systèmes de géolocalisation pour engins de pêche

##### ✓ **Contexte**

Il arrive souvent que des filets de pêche ou autres matériels immergés en mer soient égarés à cause de la météo ou tout simplement volés. Certains de ces équipements constituent un investissement important pour les exploitants, pouvant aller jusqu'à 40 000 euros. C'est pourquoi beaucoup d'entre eux équipent leurs engins d'un dispositif de géolocalisation. Des projets d'industriels (comme les sociétés Scatri ou CLS) sont en cours pour développer ce type de solution.

Il existe également des projets universitaires portant sur la conception de filets connectés. Le projet **FIND (Filets coNnectés pour une pêche Durable)**, par exemple, a été lancé en avril 2019 par l'Université de Bordeaux.

### ✓ **Description**

Le projet FIND est basé sur un dispositif composé d'un récepteur acoustique attaché sous le bateau de pêche et d'une balise acoustique (ou « pinger ») attachée au filet de pêche. Le récepteur (constitué de plusieurs hydrophones) écoute les signaux émis par la balise et peut ainsi la localiser en utilisant des fréquences inoffensives pour la faune sous-marine.

D'autres projets consistent à équiper les filets de bouées avec balise GPS. Les bouées sont évacuées de l'engin de pêche par un signal acoustique quand l'engin est immergé. Les bouées remontent alors en surface et la balise GPS se déclenche, permettant ainsi la localisation de l'engin. Le signal acoustique est déclenché depuis le navire de pêche.

## Les systèmes de pop-up tags

### ✓ **Contexte**

Certaines sociétés, dont CLS, commercialisent des systèmes de balisage, appelés pop-up tags, utilisés pour localiser des animaux marins ou pour localiser des événements qui surviennent en mer sur des câbles sous-marins.

### ✓ **Description**

Une balise GPS est placée sur l'objet ou l'animal considéré, et se trouve donc sous l'eau. Son évacuation peut être déclenchée :

- Soit en la reliant à l'objet par un lien biodégradable qui se casse au bout d'un certain temps au contact de l'eau,
- Soit de façon mécanique à un certain niveau de pression via une commande interne qui se déclenche. Le niveau de pression déclencheur est paramétrable.

Arrivée en surface la balise peut être détectée. Le lieu localisé correspondra à l'emplacement de la balise à la date du début de son activation.

## **3.1.3 – Conclusion**

### ✓ **Mixer ces solutions techniques**

L'association du principe de la bouée connectée et du dispositif d'évacuation utilisé pour les pop-up tags pourrait être une piste intéressante. Il s'agirait d'équiper les conteneurs contenant des marchandises dangereuses d'un dispositif semblable à celui des filets de pêche. En cas de chute, la balise GPS qui équipe la bouée s'activerait. En cas d'immersion, elle serait évacuée par le même système que celui utilisé pour les pop-up tags, permettant ainsi à la balise GPS de regagner la surface et d'être détectable.

### ✓ **Limites**

Les contraintes d'environnement (le système doit résister aux fortes pressions sous-marines) et les contraintes technologiques, liées notamment au mécanisme de déclenchement des pop-up tags, rendent ces solutions très onéreuses.



Les contraintes de manutention limitent également la possibilité de fixer un tel dispositif sur un conteneur. En outre, le risque de déclenchements intempestifs n'est pas négligeable (à l'instar des balises de détresse COSPAS-SARSAT).

Pour équiper un conteneur avec ce type de technologie, il faudrait compter, selon Gaetan Fabritius (CLS), sur un budget de l'ordre de 4 000 à 5 000 euros par conteneur. Ce coût rend bien sûr **ce type de solution financièrement inenvisageable en l'état. Néanmoins, ce principe pourrait très facilement faire l'objet d'un appel à projets auprès d'industriels pour concevoir un dispositif proche à des coûts raisonnables.**

## 3.2- Les modèles de suivi de la dérive des conteneurs

L'une des façons de localiser un conteneur tombé d'un navire consiste à évaluer sa probabilité de dérive dans le temps et dans l'espace à partir de données telle que la météo, la force du vent, ou la courantologie. Cette évaluation permet de tracer un itinéraire de dérive théorique du conteneur qui sert de support aux opérations de recherche.

Le modèle MOTHY, exploité par Météo France, est aujourd'hui le principal modèle utilisé en France pour localiser les conteneurs en mer. D'autres modèles ont vu le jour avec, pour certains, l'ambition de répondre à certaines limites du modèle MOTHY. C'est le cas par exemple des modèles OSCAR, actuellement en cours d'étude au Cerema et de CURDRIFT développé par ACTIMAR.

Par ailleurs, le projet Lost Cont, mené en 2008, a permis de mieux appréhender le comportement des conteneurs en dérive et d'affiner les données entrantes des modèles de prévision.

En outre, il existe des systèmes de cartographies très précises mixant les courants marins de surface, le cap des navires et les données AIS. Ces systèmes permettent d'évaluer la probabilité de dérive des conteneurs à partir de la combinaison de ces données d'entrée. La société eOdyn, basée à Brest, propose par exemple ce type de solutions qui lui sert également de socle à son propre modèle de prévision de dérive.

### 3.2.1 - Le modèle MOTHY

#### ✓ **Contexte**

MOTHY (Modèle Océanique de Transport d'Hydrocarbures), développé en 1994, est un modèle double permettant, d'une part, de modéliser le courant de surface et d'autre part la dérive de nappe ou d'objet. Le prévisionniste marine du Centre National de Prévision de Météo-France peut l'utiliser 24h/24 quelle que soit la zone d'étude dans le monde entier.

Il est en moyenne activé 600 fois par an pour prévoir les dérives de nappes d'hydrocarbures ou d'objets flottants. Son usage permet également de fixer les zones de recherche de naufragés en cas de sinistre en mer.

Le modèle a évolué en 1998 pour permettre également de prédire la dérive des objets flottants de type conteneurs. Il permet donc d'estimer leur itinéraire de dérive probable et de dresser ainsi les zones de danger pour la navigation et la localisation des objets pour les opérations de récupération.

Bien qu'initialement non prévu pour la détermination de la dérive d'objet pour la recherche et le sauvetage (SAR), les CROSS ont utilisé MOTHY dès le début à cette fin avec des résultats satisfaisants.

Meteo France a développé en 2009 une troisième version du modèle (MOTHY-Leeway) destinée aux opérations de sauvetage en mer (SAR).

Elle s'applique à 72 cibles dérivantes telles que : personnes immergées, engins de plage, radeaux de survie, navires (du voilier au cargo). La base de données initialement utilisée a été constituée par le service des gardes côtes américains (USCG) à partir d'expérimentations en mer. Elle est progressivement enrichie par des résultats d'expérimentations en mer réalisées par des organismes spécialisés ou par des retours d'expérience communiqués par les services SAR.

L'IFREMER, en partenariat avec les gardes côtes norvégiens et les USCG, a ainsi réalisé des essais sur un conteneur en vue d'en améliorer la modélisation dans MOTHY-Leeway ou tout autre logiciel de calcul de dérive existant comme les modèles suivants :

- SAROPS aux USA pour les USCG,
- CANSARP au Canada ou
- SARIS au Royaume-Uni (également utilisé par l'US Air Force aux USA pour le SAR aéronautique, la SASEMAR en Espagne, les gardes côtes grecques, des Pays-Bas, d'Afrique du Sud, de Nouvelle Zélande ou les Chinois).

MOTHY permet de simuler la dérive des nappes de polluants ou d'objets flottants en surface à partir des vents observés et des prévisions de vents effectuées par Météo-France, mais aussi des courants marins plus profonds, analysés et prévus par le système d'océanographie Mercator Océan et le programme européen Mediterranean Forecasting System (MFS). Il intègre des modèles atmosphériques régionaux (ARPEGE et AROME) pour la métropole et l'outre-mer permettant de définir des mailles de calcul plus fines.

Météo France est un acteur public majeur de la sécurité maritime, chargé de la diffusion des informations météorologiques aux navigateurs, via notamment les services de diffusion des CROSS sur les réseaux NAVTEX, MF et VHF, et produit gratuitement ce service de qualité de calcul de dérive au profit des CROSS.

### ✓ **Description**

MOTHY permet de paramétrer les champs de vents et les degrés d'émersion qui impacteront la dérive. Il intègre un modèle déterministe qui permet d'estimer en temps réel une probabilité de présence à un endroit donné.

Le « *Guide opérationnel Conteneurs et colis perdus en mer* » du Cedre présente la structure du modèle MOTHY permettant de suivre des objets. Celui-ci est composé de 2 modules :

- Un module de vitesse (intégrant les courants, la vitesse du vent, la configuration émergée ou immergée de l'objet),
- Un module de direction qui intègre les facteurs influant l'itinéraire de dérive.

### ✓ **Les limites pour le suivi de dérive de conteneurs**

MOTHY est basé sur une méthode de prédiction probabiliste qui présente l'inconvénient de ne pas indiquer le sens de la dérive à partir d'un point de localisation donné. Or, c'est le principal problème que pose la dérive d'un objet qu'il faut prendre en compte quelle que soit la méthode de calcul.

### 3.2.2 - Le modèle OSCAR

#### ✓ **Contexte**

Le Cerema a développé son propre outil de prévision de dérive (OSCAR) en collaboration avec la Direction des Affaires Maritimes et Naval group.

Ce modèle s'appuie sur une approche déterministe qui permettra d'obtenir des résultats plus précis pour le suivi de dérive d'objets que ceux issus de MOTHY.

Une première version d'OSCAR (v0) a été conçue, mais elle est, à ce jour, en attente de validation par la Direction des Affaires Maritimes (la validation est prévue courant 2021).

Afin de continuer le développement de cet outil, une thèse de doctorat de trois ans est en cours au Cerema depuis octobre 2020.

Le modèle Oscar est actuellement en phase de développement. Il a été lancé en juin 2017 par la DGITM/DAM dans le cadre du programme SeaMIS (safety at Sea Management and Information System) destiné à être déployé dans les CROSS et MRCC de Métropole et d'Outre-mer.

SeaMIS se compose :

- d'un module de gestion des opérations de secours maritime (SECMAR) ;
- d'un module de gestion des opérations de surveillance des pollutions (SURPOL) ;
- d'une console de traitement automatique des alertes (CRAA) ;
- d'un module cartographique (SIG) ;
- d'un module de collecte d'informations relatives aux voyages ;
- d'un modélisateur de dérives (OSCAR) ;
- d'un outil d'aide à la planification des recherches.

#### ✓ **Descriptif**

OSCAR sera un outil numérique précis, robuste et quantitatif permettant le calcul de la trajectoire d'un objet flottant en dérive. Il se basera sur des données de prévision météorologique et hydrodynamique fournies à un pas de temps de 10 à 20 minutes. Pour cela, une meilleure estimation des forces aérodynamiques et hydrodynamiques est indispensable.

L'originalité de ce modèle réside dans l'utilisation d'une base de données d'objets construite à partir de l'évolution des coefficients aérodynamiques et hydrodynamiques d'un objet donné selon le volume des surfaces immergées et émergées de l'objet (méthode CFd). Cette méthode permet d'améliorer considérablement la précision des calculs en tenant en compte de la forme réelle de l'objet flottant ainsi que de son cap.

#### ✓ **Avantages**

Oscar est un modèle déterministe plus précis et plus réaliste que MOTHY, qui, lui, est un modèle probabiliste où, la trajectoire est calculée en se basant sur des coefficients fournis le plus souvent par les garde-côtes américains (USCG). Il faut noter que ces coefficients sont obtenus à partir des tests in-situ dans des conditions météorologiques et hydrodynamiques nord-américaines.

### ✓ **Limites**

Le modèle Oscar est un modèle déterministe et les résultats (trajectoire) dépendent fortement des données d'entrée à savoir la qualité des données météorologiques et hydrodynamiques.

Contrairement au modèle MOTHY, qui est financé par un organisme public, le modèle Oscar est un logiciel privé qui doit être acheté par l'administration.

Notons que le manuel IAMSAR prévoit qu'il est toujours possible, si cela est nécessaire, de calculer une dérive et de planifier manuellement une zone de recherche.

### **3.2.3 - Les modèle ACTIMAR : WERA et CURDRIFT**

#### ✓ **Contexte**

La société ACTIMAR, basée à Brest, intervient dans les activités liées à l'océanographie et au maritime. Elle propose en particulier des prévisions opérationnelles :

- Des états de mer : construction de modèles météo-océaniques et mise en œuvre d'un service spécifique pour la fourniture de prévisions opérationnelles et de bulletins d'alertes,
- Du courant de surface pour le routage des navires : qualification des modèles de prévisions du courant de surface, fourniture de prévisions de courant optimisées.

ACTIMAR a développé deux applications potentiellement utilisables pour suivre la dérive d'un conteneur :

- Une application cartographique temps réel basée sur l'observation radars dans le cadre du projet SAR-DRIFT,
- Un modèle de prévision de dérive, nommé Cur-drift.

#### *L'application cartographique radar*

Dans le cadre du projet SAR-DRIFT, ACTIMAR a développé un outil d'estimation de la dérive basé sur l'observation du système de radar océanique « WERA » (Wave Radar). Deux stations ont été déployées sur les côtes bretonnes en 2006. Elles permettent de produire en temps réel des cartes de courants de surface et des hauteurs de vagues sur une surface de 10 000 km<sup>2</sup>.

Ces données permettent d'améliorer significativement les prévisions d'objets dérivants en cas d'accident. Elles complètent et affinent les résultats des modèles numériques, basés sur l'hydrodynamique et les modèles atmosphériques, utilisés actuellement pour la recherche des conteneurs et le sauvetage. En effet, les modèles numériques sont efficaces mais la précision des trajectoires lagrangiennes dérivées n'est pas suffisante pour la recherche de conteneurs et le sauvetage.

Les résultats du projet SAR-DRIFT ont montré une amélioration significative de la simulation de dérive avec l'utilisation de données de courant en temps réel fournies par des systèmes radar en lieu et place de modèles numériques. Les prévisions obtenues peuvent être utilisées pour la prévision de déversements d'hydrocarbures dérivants ou de conteneurs en cas d'accident. En outre, elles permettent d'identifier le navire à l'origine de la chute du conteneur ou de la pollution.

### Le modèle de prévision de dérive Cur-drift

Le modèle Cur-Drift a été développé par ACTIMAR dans le cadre de SAR-Drift. Il permet de suivre en temps réel la dérive d'un objet ou d'un polluant.

Le modèle permet d'établir des scénarios en mer à partir des données issues des modèles de prévision opérationnelle (vent, courants) et/ou des données issues de capteurs opérationnels tels que les radars HF côtiers.

#### ✓ **Description**

##### L'application cartographique radar

Le système WERA (WavE RAdar) s'appuie sur un dispositif de télécommande à terre qui, par technologie radar, met en action un système de détection permettant de relever les informations liées aux courants, aux vagues et aux directions du vent. Le système utilise des fréquences radio situées entre 5 et 50 MHz, ce qui permet une résolution optimisée.

Les ondes radio sont portées par la surface de l'océan, ce qui permet aux signaux de pouvoir être détectés à plus de 200 km.

Par cette méthode, les cartographies produites permettent de visualiser en temps réel la dérive.

Des tests ont été menés à partir de dériveurs qui ont été suivis par cette méthode WERA. Ils ont consisté à comparer les prédictions qui résultent de l'application d'une méthode numérique (en utilisant un modèle de marée 2D généralement utilisé pour les opérations SAR) et celles qui résultent de la méthode radar WERA. Il s'est avéré que l'étude de prévision de dérive par radar WERA est plus précise que la modélisation 2D.

##### Le modèle Cur-drif

Le principe du modèle consiste à :

- Calculer la probabilité de présence d'objets dérivants,
- Se baser sur les courants de surface et les champs de vent,
- Éditer des résultats en temps réel via une interface de cartographie Web.

L'outil permet de construire des scénarios à partir des données de courants et de vent et de visualiser les résultats des prévisions :

- Sur une carte interactive intégrant un curseur temporel permettant de visualiser la trajectoire moyenne dans le temps et dans l'espace,
- En affichant les contours de probabilité de présence de l'objet,
- En localisant les champs éoliens et les courants.

### ✓ **Intérêts**

A la différence de MOTHY, le modèle Cur-drift prend en compte les efforts du vent et du courant appliqués aux surfaces du conteneur qui flotte.

### ✓ **Limites**

Les modèles ACTIMAR dépendent de données issues des radars HF. Ces radars ne sont pas faciles à implanter. La zone côtière est limitée par définition. C'est par ailleurs une zone complexe où il faut également prendre en compte l'interaction des courants avec le relief côtier. Si le courant de surface est parfaitement mesuré, il peut y avoir de grande différence suivant la zone avec le comportement de ce même courant sous la surface.

C'est le cas en particulier en mer d'Iroise par forte marée.

## **3.2.4 - L'expérimentation Lost Cont**

### ✓ **Contexte**

Dans le cadre du projet européen « Lost Cont » qui vise à résoudre la perte des conteneurs dans le golfe de Gascogne et ses alentours, la préfecture maritime Atlantique, accompagnée de plusieurs acteurs (le Cèdre, l'IFREMER, le service espagnol de sécurité maritime SASEMAR et les centres opérationnels de la marine de Brest et Cherbourg) a réalisé en 2008 un exercice de dérive de conteneurs. Ce projet visait à comprendre le comportement des conteneurs en mer et évaluer les paramètres fondamentaux qui entrent en jeu dans le phénomène de dérive.

Outre l'expérimentation de dérive, les conséquences des accidents et des pertes de conteneurs survenus entre 1992 et 2008 ont également été évalués dans le cadre du projet. Cette évaluation s'est faite à travers l'analyse des causes, des conséquences et des réponses qui avaient été apportées suite à ces sinistres. 150 accidents ont été répertoriés. Ceux-ci ont causé la chute de 1 251 conteneurs.

### ✓ **Description de la campagne d'essai**

L'expérience s'est déroulée du 22 au 24 Septembre 2008. Un conteneur a été équipé d'un transpondeur AIS et d'une balise ARGOS. On l'a ensuite fait dériver. Le conteneur a été mis à la mer le 22 Septembre 2008 à la sortie du goulet de Brest puis a été récupéré 24h plus tard par un navire de service.

Cette expérimentation a permis de récupérer des données importantes relatives aux vents, aux courants et aux vagues, permettant de comprendre et de mieux appréhender le phénomène de dérive des conteneurs. L'étude a montré que le conteneur avait dérivé à une vitesse comprise entre 1 et 1,5 milles par heure.

Cette campagne d'essais a permis d'affiner les données d'entrées des modèles de prévision de dérive et d'améliorer les moyens de localisation et de récupération des conteneurs.



### 3.2.5 - La solution eOdyn

#### ✓ *Contexte*

Basée à Plouzané en Bretagne, la société eOdyn, fondée en décembre 2015, a mis en œuvre un algorithme d'intelligence artificielle qui lui a permis de mettre sur le marché une solution de routage météorologique d'aide à la navigation intitulée SeaWaze.

L'algorithme analyse en temps réel les courants de surface de la planète. Celui-ci permet de concevoir des cartographies des courants marins de surface très précises. En combinant les données issues de ces cartes des courants avec le cap et les localisations AIS des navires, l'outil SeaWaze détermine une cartographie et des itinéraires optimisés pouvant alimenter les systèmes de routages pour la navigation.

Suite au sinistre du CLS Virginia, en octobre 2018 au large de la côte d'Azur, eOdyn a mis son algorithme à disposition du Cedre pour suivre la dérive des polluants. Une amélioration des prédictions de dérives a été constatée par le Cedre grâce à cet outil. Les cartographies peuvent également être utilisées pour tracer les zones de dérive potentielle de conteneurs tombés en mer et ainsi alimenter les modèles de prévisions de dérive tels que MOTHY.

Par ailleurs, eOdyn a développé son propre outil de prédiction de dérives d'objets à partir des données de courants marins de surface issues de son algorithme.

#### ✓ *Description*

La société eOdyn a développé un algorithme d'apprentissage automatique permettant de collecter des données d'environnement simultanément et en tout point du globe.

Par ailleurs, en matière de sauvetage en mer et de lutte antipollution, les données de courant exploitées proviennent souvent, à l'instar de ce qui est fait aux Etats-Unis, de radars HF déployés sur le littoral. Ces systèmes radar sont néanmoins difficiles à installer et il n'est pas possible d'en couvrir toutes les côtes à travers le monde. Les côtes européennes ne sont que très partiellement couvertes par exemple. Les données omni-situ (OS) produites par eOdyn, consolidées par des données satellitaires provenant du service européen Copernicus, permettent de compléter les zones de couverture et peuvent fournir des informations environnementales utiles à l'analyse d'objet dérivants en mer et donc à la sécurité maritime.

Les données OS produites par eOdyn ont déjà été testées avec succès par le Cedre dans le cadre de l'évaluation de différents outils de calcul de dérive, dont MOTHY, le modèle de dérive de météo-France exploité dans les CROSS.

eOdyn développe actuellement dans le cadre du projet DUOS financé par la BPI et soutenu par le CNES, son propre outil de calcul et de visualisation de dérive d'objets flottants. Cet outil devrait être exploitable pour des tests opérationnels à compter de 2021.

### 3.2.6 – Conclusion

Les modèles de prévision des dérives évoluent continuellement pour toujours mieux prendre en compte les paramètres déterminants (météo, vent, courant,...). Les modèles Oscar (porté par le Cerema) et CURDRIFT (porté par la société ACTIMAR) corrigent ainsi certaines limites du modèle MOTHY de Météo France (principal modèle utilisé en France). Par ailleurs, les systèmes de cartographie dynamique (tels que ceux développés par la société eOdyn) constituent un support pertinent pour un modèle de prévision de dérive.

## 3.3- Les solutions de suivi de conteneurs par GPS

### 3.3.1 - Principe général de ces solutions

Plusieurs entreprises ont développé des solutions pour les acteurs du secteur des transports et de la logistique. Elles permettent à leurs clients (chargeurs, affréteurs et autres organisateurs de transport) de suivre en temps réel leurs marchandises ainsi que leurs conditions de transport. Ces solutions sont proposées dans une perspective commerciale d'optimisation des chaînes logistiques et des coûts.

Grâce à ces solutions, leurs clients peuvent analyser le trajet effectué par leur conteneur et ainsi revoir si nécessaire leur contrat de transport maritime pour que le conteneur soit pris en charge à un autre port ou qu'ils prennent une autre route. En cas de retard, le client est alerté et peut ainsi ralentir une ligne de production plutôt que de l'arrêter.

Ces solutions s'appuient sur un dispositif de suivi constitué généralement d'une balise amovible, fixée à l'intérieur ou à l'extérieur d'un conteneur, et d'une plate-forme de gestion du suivi des conteneurs faisant l'interface avec le client utilisateur de la solution.

**Il est à noter que ces solutions ont pour ambition de tracer les marchandises et non les conteneurs en tant que tel.**

#### La balise amovible

La plupart de ces balises fonctionnent *par localisation GPS avec transmission par réseau cellulaire (GPRS), par l'internet des objets (IoT) ou par réseau de téléphone satellite.*

#### La plate-forme de gestion du suivi du conteneur

La plateforme de gestion permet au client de la solution de suivre en temps réel, via son PC, tablette ou smartphone, l'acheminement de son conteneur et ainsi optimiser la gestion de ses flux et de ses stocks.

Elle informe sur :

- Les points de passage et d'arrêts des conteneurs avec les heures et les dates des événements ayant lieu lors du trajet (ouvertures de porte, chocs, grutages, dépassements des niveaux de température et d'humidité),
- La localisation du conteneur sur un fond cartographique.

Elle génère des notifications lors d'un de ces événements ou lorsque le conteneur part ou arrive à destination.

### 3.3.2 - Principe des technologies de géolocalisation utilisées par ces solutions

#### Le principe de la localisation GPS

Le système GPS repose sur une constellation de **30 satellites situés en orbite** autour de la Terre. Chacun transmet :

- Sa position,
- L'heure et la date d'émission du signal.

La balise GPS est équipée d'une puce qui reçoit ces signaux. Lorsqu'un minimum de 4 satellites sont captés, la balise calcule ses propres coordonnées de localisation (latitude, longitude et

altitude) et déduit ainsi la localisation du conteneur à partir du positionnement de 3 satellites par **trilatération** (méthode comparable à la triangulation, basée sur un calcul de distances sans calcul d'angles).

L'horodatage généré par l'horloge atomique du quatrième satellite va permettre la synchronisation de l'horloge de la balise GPS.

Pour pouvoir utiliser le GPS, il faut donc un minimum de quatre satellites : trois pour la position, et un supplémentaire pour la synchronisation.

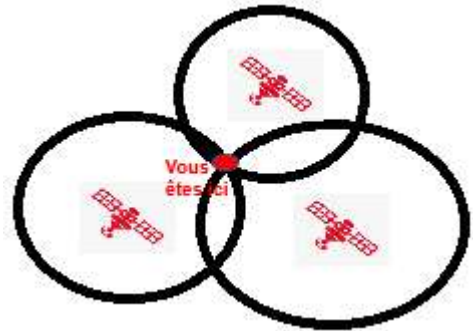


Figure 2 : illustration du principe de trilatération.

### Les modes de transmission de la position GPS

La balise peut communiquer la position GPS de 3 façons possibles : par le réseau cellulaire, par l'internet des objets ou par réseau de téléphone satellite

#### ✓ **Le principe du positionnement via le réseau cellulaire**

Le positionnement par réseau cellulaire s'appuie sur les infrastructures et les technologies des réseaux mobiles (antennes relais) utilisés pour le téléphone et pour le transfert de données (GSM, l'UMTS ou le LTE). Le positionnement par réseau cellulaire peut se faire via 3 types de technologies possibles :

#### Le Cell-Id

Cette technologie ne nécessite pas de matériel spécifique à déployer, c'est pourquoi elle est la plus économique. Dès lors que la balise se trouve sur le périmètre couvert par le réseau, elle se connecte à une antenne relais GSM et peut ainsi être localisée en moins de 5 secondes.

L'inconvénient de cette technologie est que ses performances dépendent du nombre d'antennes relais déployées par l'opérateur ainsi que de la distance entre chaque antenne.

La localisation sera d'autant moins précise que l'antenne est isolée et que la zone de couverture est vaste.

#### Le TDOA

La technologie « time difference of arrival » (TDoA) consiste, grâce à un calculateur externe, à localiser la balise à partir du temps écoulé entre l'émission d'un signal qu'elle envoie aux stations environnantes et la réception du signal renvoyé par la station la plus proche (le « round-trip delay time »).

Une autre technique nommée « uplink Time of Arrival » (ToA) utilise un principe proche.

#### La triangulation

La méthode consiste à croiser les données obtenues à partir de trois antennes relais appartenant au même opérateur (ou mutualisées entre plusieurs opérateurs) quand la balise est en mouvement.

La puce de la balise doit préalablement être équipée d'un programme permettant une localisation en cinq secondes.

La plupart des solutions de tracking proposées pour optimiser la « supply chain » utilisent un positionnement via le réseau cellulaire, le positionnement GPS étant beaucoup plus cher. Le principal écueil est bien entendu que ce type de balise fonctionne tant qu'elle peut détecter une antenne relais. Dès lors que le conteneur équipé s'éloigne en mer, la détection devient impossible. La balise n'est plus localisable.

### ✓ ***Le principe du positionnement par l'internet des objets (IoT)***

Ce système permet de donner la position exacte d'une balise dans un environnement où aucun système de localisation n'est accessible. Il s'agit du nouveau concept de « **localisation des objets** ». Cette technologie est relativement récente et en cours de développement.

Chaque appareil dans un réseau constitue un nœud pour échanger des informations sur leur localisation, grâce aux ondes, en mesurant notamment la puissance, l'angle et la durée du trajet des ondes, mais également grâce à des cartes numériques et de données de capteurs de mouvement.

Pour fonctionner, il faut que l'un des objets en réseau ait une géolocalisation précise, comme un GPS ou une borne Wi-Fi, pour que tous les autres appareils parviennent à établir leur propre précision.

Le principal écueil de cette technologie est que le système demande beaucoup de puissance de calcul. Des recherches sont en cours pour permettre de localiser les appareils qui ne peuvent pas partager d'informations. Elles visent à rendre possible la rétrodiffusion des signaux, permettant aux autres nœuds du réseau de détecter leur présence et calculer leur position. Cette technologie est également vite limitée en mer, dès qu'on s'éloigne des côtes.

### ✓ ***Le principe du positionnement par téléphone satellite (réseau Iridium ou Kinéis)***

Le système de positionnement par téléphone satellite utilise une constellation de satellites qui gravitent autour de la Terre sur une orbite basse (située à 1 100 km d'altitude en dessous des ceintures de Van Allen potentiellement néfastes pour l'électronique).

Le dispositif permet de couvrir l'ensemble de la Terre. Il offre ainsi aux terminaux mobiles, terrestres ou maritimes la possibilité de communiquer avec des fournisseurs d'accès aux réseaux de télécommunication terrestre en utilisant des canaux de téléphonie et de données, à partir de terminaux portables ou fixes.

Chaque satellite couvre une zone de 4 400 km de diamètre et se trouve relié à 2 satellites adjacents qui évoluent sur le même plan orbital et à deux autres qui se trouvent sur les plans orbitaux à proximité.

Ce système nécessite l'usage d'un téléphone ou d'une balise dédiée dont le coût est beaucoup plus important que celui d'une balise utilisant une localisation par le réseau cellulaire.

### 3.3.3 - Avantages & inconvénients des technologies de positionnement utilisées

#### Le positionnement par réseau cellulaire et par internet des objets (IoT)

##### ✓ **Inconvénients**

Les solutions qui s'appuient sur un positionnement cellulaire ou par internet des objets (nécessitant donc des antennes relais) ne permettent pas de suivre le conteneur quand il est en mer. La localisation qu'elles indiquent sur son itinéraire maritime correspond à celle du navire qui le transporte. La balise redevient active quand elle atteint une zone de couverture (cellulaire ou IoT).

**Les solutions de géolocalisation par réseau cellulaire et par internet des objets ne sont donc pas envisageables pour suivre des conteneurs tombés en mer.**

##### ✓ **Avantages**

Le service de tracking est généralement proposé à un tarif compétitif (de l'ordre de 50 à 100€ / conteneur et par expédition, ce prix intègre le coût de la balise).

#### Le positionnement par satellite

##### ✓ **Avantages**

Seules les solutions par satellite permettent de suivre un conteneur en mer.

Un conteneur équipé d'un dispositif satellite pourra donc être suivi via la plateforme tant que la balise n'est pas immergée et que la pile d'alimentation le permet. Une balise satellite dispose en général d'une autonomie allant jusqu'à 20 000 positions, soit à peu près 5 ans. Il existe des balises solaires à durée illimitée, mais elles doivent être placées à l'extérieur du conteneur.

##### ✓ **Inconvénients**

#### Le coût

Une balise coûte entre 300 et 700 euros l'unité. Le coût d'usage du réseau est beaucoup plus élevé qu'une communication GSM ou IoT. Pour une communication par satellite, il faut compter un abonnement de l'ordre de 50 €/mois plus 10 centimes par position signalée par la balise.

*Exemple : l'abonnement et le coût d'usage serait de 66 € avec une balise qui prendrait sa position 4 fois par jour sur un trajet Chine/France qui durerait 40 jours.*

Quand son conteneur est en mer, le client d'une solution qui s'appuie sur un positionnement cellulaire ou par internet des objets n'a besoin que de localiser la position du conteneur. C'est pourquoi, sur l'itinéraire maritime, la plupart des opérateurs proposent dans leurs solutions la localisation du navire transportant le conteneur via les signaux AIS, et non celle du conteneur en lui-même.

#### L'effet cage de Faraday

Un conteneur qui se trouve au fond d'une cale et qui est équipé d'une balise GPS peut difficilement être identifié, car le signal est brouillé (du fait de l'effet cage de Faraday). Seul la société Ki-neis proposerait une solution relayant le signal depuis les balises qui équipent les conteneurs du haut de piles vers celles des conteneurs situés en bas de piles.

## L'étanchéité

Un système de suivi par satellite ne peut fonctionner que si la balise est émergée. Si le conteneur tombe à l'eau et la balise se retrouve immergée, elle ne pourra plus être détectée.

### **3.3.4 - Quelques exemples de solutions de suivi de conteneurs utilisées pour optimiser la supply chain**

#### **Safecube**

Safecube a été créée en avril 2019 par Michelin, Sigfox et la société de consulting Argon Consulting. La société commercialise, depuis septembre 2019, une solution de localisation intercontinentale et multimodale des conteneurs et de suivi de leurs conditions de transport en termes de température, humidité, chocs, ouverture, etc. en temps réel. La solution s'appuie sur un tracker utilisant l'internet des objets (IoT) à travers le réseau Sigfox.

Quand le conteneur est sur un itinéraire maritime, l'application indique la position GPS du navire transportant le conteneur. Arrivé au port de destination, la balise se reconnecte aux relais Sigfox, si l'opérateur dispose de relais dans le pays d'arrivée. Le réseau Sigfox est aujourd'hui déployé dans 60 pays, ce qui est un facteur limitant.

Le service est proposé au tarif de 50€ par expédition

#### **Traxens**

Traxens (dont MSC, CMA CGM et Maersk détiennent une partie du capital) propose des conteneurs connectés. L'objectif poursuivi est d'en faire un standard, c'est-à-dire, une solution utilisée par l'ensemble des acteurs de la chaîne de valeur. Comme Safecube, son dispositif de positionnement utilise l'internet des objets (IoT) et le positionnement GPS du navire en mer. Avec une levée de fonds conséquente opérée en 2019, la société vise le déploiement de 100 000 conteneurs équipés d'ici fin 2020.

La tarification proposée table sur « *un prix inférieur à 50 centimes d'euro par jour pour un conteneur classique en location et environ 3 euros pour un conteneur frigorifique* » (selon Michel Fallah, CEO de Traxens).

#### **Solustop**

Société spécialisée dans le tracking (géolocalisation de véhicules, tracking d'objets divers...), Solustop propose pour le suivi de conteneurs un dispositif de positionnement cellulaire, s'appuyant sur les réseaux opérateurs terrestres si la couverture est disponible, et utilisant le réseau satellite iridium en zone de non couverture.

Les balises proposées sont amovibles et leur fonctionnement est paramétrable (on peut régler la périodicité des prises de positions de la balise). Lorsqu'elles sont en mer, elles se connectent au réseau de téléphonie satellite iridium.

#### **NEXT4**

Créée en 2018, NEXT4 est une startup toulousaine spécialisée dans les systèmes de traçage des conteneurs maritimes. Sa solution de tracking actuelle fonctionne par voie cellulaire. La balise est amovible et fixée à l'intérieur du conteneur. Comme les autres solutions cellulaires, NEXT4 indique la position du navire quand le conteneur se trouve en mer.

NEXT4 travaille sur une future solution par réseau satellite. Elle intégrera le module satellite Kineis (du groupe CLS), permettant ainsi de pouvoir suivre le conteneur même en pleine mer. Cette nouvelle balise devrait voir le jour courant 2021.

Le traceur actuel est vendu 100 euros pièce et 5 euros par mois d'abonnement pour le suivi du conteneur. Le futur traceur coûterait 180 euros avec un abonnement mensuel plus élevé.

### **3.3.5 - Conclusion**

Les solutions de tracking GPS via réseau cellulaire ou via IoT ont pour objectif de suivre les marchandises et non le conteneur.

Elles ne sont pas envisageables pour le suivi de conteneurs tombés en mer vu que la balise adossée au conteneur est inopérante en mer (ces solutions utilisent le positionnement AIS du navire pour indiquer sur leur plate-forme la localisation du conteneur quand il est en pleine mer).

Les solutions GPS par satellite peuvent, pour leur part, tracer un conteneur en pleine mer. Néanmoins, s'il tombe, elles peuvent assurer un suivi tant que la balise GPS n'est pas immergée. Il faut toutefois rechercher une solution fiable pour placer la balise GPS à l'extérieur du conteneur afin qu'elle ne soit pas endommagée au cours des différentes manipulations du conteneur.



## 3.4- Les dispositifs en cours de développement spécifiquement pour l'alerte et le suivi des conteneurs en mer

### 3.4.1 – Les dispositifs identifiés

Il n'existe pas aujourd'hui de solution de tracking dédiée spécifiquement au suivi de conteneurs tombés en mer. Les développeurs d'applications expliquent en effet que ce ne serait économiquement pas intéressant pour eux dans la mesure où cela ne répond pas à un besoin de clients.

Il existe néanmoins deux solutions en développement qui visent expressément à signaler les chutes de conteneurs en mer et/ou à permettre aux autorités de suivre leurs dérives. Ces solutions sont portées par les sociétés :

- Seatrackbox,
- CLS – Kineis.

Il existe également un projet (qui n'est aujourd'hui encore qu'au stade de concept) porté par la startup AVA Maritime, incubée chez Euratechnologie à Lille.

Le **dispositif Seatrackbox** s'appuie sur :

- Une balise GPS amovible fixée sur une « bouée éjectable » apposée à l'extérieur du conteneur et
- Une plateforme centralisant les informations géolocalisées et pilotant un système d'alerte en temps réel.

Le système prévoit, en plus, en cas d'immersion, un dispositif de bouées GPS qui seraient éjectées tout en restant attachées au conteneur, ce qui permettrait de continuer à localiser le conteneur même coulé.

Le **dispositif CLS**, en cours de développement, est constitué d'une balise amovible et d'une plateforme de suivi. La balise amovible est équipée d'une antenne permettant une connexion satellite (qui s'apparente à du GPS) via le module Kineis (une nouvelle constellation de nanosatellites exploités par CLS). Cette solution permet d'être connecté en pleine mer.

Le **dispositif proposé par AVA Maritime** s'appuie sur deux types de solutions (actuellement en phase de conception) :

- Un système bluetooth qui en temps réel permet d'alerter en cas de chute de conteneurs en mer,
- Un dispositif AIS de tracking du conteneur lorsqu'il dérive.

La startup propose :

- Une solution minimale qui consiste à alerter la passerelle et les autorités maritimes en temps réel en cas de chute d'un conteneur. La solution permet d'établir une estimation de l'itinéraire de dérive à partir du point de chute identifié.
- Une solution maximale qui consiste à utiliser une balise à la fois bluetooth et AIS pour pouvoir en plus suivre la dérive du conteneur tombé en mer.

### 3.4.2 – Vers un dispositif d’alerte et de reporting valorisant les solutions de tracking existantes

Compte tenu de l’existence de solutions de tracking GPS de conteneurs par mode cellulaire (type Traxens, Safecube ou Next 4), il pourrait être envisagé l’instauration d’un système alertant le personnel de quart en temps réel en cas de chute d’un ou de plusieurs conteneurs. Ce dispositif alimenterait un indicateur du tableau de bord de navigation qui s’activerait immédiatement en cas de chute.

Il alimenterait également une application qui marque la position AIS du navire au moment de la chute. Cette application transmettrait automatiquement l’information à l’autorité maritime de surveillance compétente pour la zone concernée. Elle alimenterait également les modèles de calcul de dérive afin de permettre une estimation de l’itinéraire de dérive du conteneur tombé en mer.

Ce système permettrait ainsi aux autorités maritimes d’être alertées au plus tôt en cas de chute de conteneurs sur leurs eaux et d’en connaître la localisation et l’itinéraire probable de dérive.

Pour mettre en œuvre ce type de dispositif, il faudrait pouvoir garantir l’activation et le fonctionnement des balises GPS de ce type de solutions quelle que soit la localisation du navire (donc même en pleine mer).

La technologie permet aujourd’hui d’utiliser la communication mobile depuis un navire grâce à des antennes relais et stations GSM installées sur le navire.

Elle est mise en application sur les navires de croisière et les ferries à travers la MCV (« Mobile Communication Services on board Vessels »). Dès que la couverture terrestre n’est plus assurée, une station de base GSM embarquée à bord du navire, connectée au réseau terrestre par satellite, prend le relais pour couvrir les terminaux des passagers.

Le MCV fonctionne au moyen de petites stations de base embarquées («pico-cellulaires») qui connectent, par satellite, les téléphones, ordinateurs ou tablettes des équipages et passagers des navires aux équipements des réseaux terrestres. Les services à bord garantissent la connectivité des utilisateurs via des réseaux de télécommunications au moyen d’un téléphone mobile traditionnel.

Par ailleurs, en 2010, la compagnie Maersk a établi un partenariat avec la société Ericsson pour équiper sa flotte d’antennes et de stations GSM afin de permettre les communications mobiles sur ses navires même en pleine mer. Ce partenariat prévoyait qu’Ericsson assure le support technique, la surveillance du réseau 24h / 24 et 7j / 7 ainsi que les services de maintenance à bord dans un grand nombre de ports.

Il pourrait donc être intéressant d’inciter les opérateurs de réseaux télécom (tels que SIGFOX ou LORA par exemple) et les armateurs à approfondir la possibilité d’équiper les porte-conteneurs de ce type de dispositif.

Outre l’alerte en temps réel en cas de chute d’un conteneur, ce système permettrait de suivre les températures et le taux d’humidité dans les conteneurs grâce aux balises GPS. Il serait un très bon moyen de prévenir les incendies.

### Les principales limites :

- ✓ Une difficulté rencontrée par le MCV est la limite d'utilisation des liaisons satellites par rapport aux liaisons GSM à terre entraînant un service potentiellement dégradé.
- ✓ Les conteneurs étant empilés les uns sur les autres et en acier, se pose également la difficulté de propagation du signal jusqu'aux conteneurs en bas de pile (effet cage de Faraday). De ce fait, malgré les moyens de relais GSM embarqués, les balises GPS fixées sur les conteneurs de bas de pile risquent de rester muettes.
- ✓ Les conteneurs peuvent bouger du fait de vibrations dues aux machines ou de secousses dues à la météo ou aux vagues. Le système devra donc bien discerner les types de mouvements possibles de conteneurs afin d'éviter des fausses alertes de chute.

### 3.4.3 – Les obstacles à la mise en place des solutions dédiées

Bertrand GEOFFRAY, expert au Bureau International des Containers (BIC), estime que, pour des raisons économiques et logistiques, il serait très difficile d'imposer aux armateurs l'installation d'un équipement qui permettrait de suivre le conteneur quand il tombe en mer.

#### ***Le coût d'investissement qui serait nécessaire ne serait pas réaliste vue la faible part des boîtes qui tombent en mer***

Bertrand GEOFFRAY estime à :

- 26 millions le nombre de conteneurs qui circulent aujourd'hui dans le monde et à un chiffre compris entre 500 et 5000 le nombre de boîtes qui tombent chaque année en mer (soit entre 0.002% et 0.02% de l'ensemble des conteneurs)
- 350 millions le nombre de mouvements qu'ils occasionnent (200 millions portant sur des conteneurs pleins et 150 millions portant sur du repositionnement de conteneurs vides).

La part infime que représente le nombre de conteneurs qui chutent de navires ne justifie pas, selon lui, un investissement qui pourrait être conséquent pour un armateur. Par ailleurs, un dispositif de suivi du conteneur représenterait une part importante du coût du conteneur lui-même (1500\$ pour un conteneur de 20 pieds). Bertrand GEOFFRAY estime en outre qu'un « conteneur ne peut se payer le luxe d'un tracking que si la marchandise intérieure le paye ».

#### ***L'entretien des équipements (des balises en particulier) serait difficile à mettre en œuvre et trop coûteux.***

La maintenance du dispositif de balises ne pourrait pas être assurée d'une façon convenable dans tous les pays du monde (par manque d'équipement ou de main d'œuvre par exemple), ce qui compromettrait le bon fonctionnement du système.

Enfin, les changements périodiques des piles des balises seraient contraignants et coûteux.

#### 3.4.4 Mixage GPS/acoustique

##### ***La solution la plus adaptée à la problématique de localisation et de suivi des conteneurs tombés en mer pourrait passer par le mixage GPS/acoustique.***

Il existe des solutions qui permettent de localiser d'autres types d'objets immergés, comme les engins de pêche ou les câbles sous-marins par exemple. Elles s'appuient sur :

- Des dispositifs acoustiques (pingers/hydrophones) qui permettent d'affiner les zones de recherche, ou,
- Des pop-up tags qui provoquent l'évacuation d'une bouée GPS depuis l'objet à localiser.

Plusieurs industriels commercialisent ce type de dispositifs, à des coûts relativement élevés aujourd'hui : de 4 000 à 5 000 € par solutions. Aux dires de certains lors des entretiens menés (la société Scarpi par exemple), ces solutions seraient facilement adaptables aux problématiques des conteneurs tombés en mer si bien sûr il existait un marché pour cette activité.

Le principe de pop-up tag pourrait, en effet, être une piste intéressante pour localiser les conteneurs. Il pourrait s'agir d'équiper les conteneurs contenant des marchandises dangereuses d'un dispositif semblable à celui utilisé pour les câbles sous-marins ou des engins de pêche. En cas de chute, la balise GPS qui équipe la bouée s'activerait. En cas d'immersion, elle serait évacuée par le même système que celui utilisé pour les pop-up tags, permettant ainsi à la balise GPS de regagner la surface et d'être détectable.

Aussi, il serait probablement pertinent d'envisager un appel à projets auprès des industriels pour ***concevoir, à un coût raisonnable, un dispositif de localisation et de suivi des conteneurs sur le principe des pop-up tags ou mixant acoustique et GPS.***

#### 3.4.5– Conclusion

##### ***1- La quasi-totalité des solutions de suivi de conteneurs par GPS tracent les marchandises et non les conteneurs eux-mêmes. Elles sont inopérantes pour suivre la dérive d'un conteneur tombé en mer.***

Il existe un grand nombre de solutions de suivi GPS des conteneurs, utilisées essentiellement pour optimiser les chaînes logistiques. Cependant, la grande majorité de ces applications utilisent une localisation GPS via un réseau terrestre cellulaire ou de type Internet des objets. Elles ne suivent pas le conteneur lorsqu'il est en pleine mer et se contentent de suivre le navire qui le transporte, via ses données de localisation AIS.

##### ***2- Deux solutions spécifiques au suivi de conteneurs tombés en mer sont en cours de développement.***

- ✓ L'une portée par la société CLS (filiale du CNES) permettra, avec des coûts relativement maîtrisés, de suivre un conteneur qui dérive tant que la balise satellite n'est pas immergée.
- ✓ L'autre est développée actuellement par la startup Seatrackbox.

##### ***3- Un concept innovant est proposé par la startup lilloise AVA Maritime pour alerter en temps réel en cas de chute de conteneurs et suivre la dérive des conteneurs tombés en mer.***

##### ***4- La solution la plus adaptée à la problématique de localisation des conteneurs tombés en mer pourrait passer par le mixage GPS/acoustique.***

Aussi, il serait probablement pertinent d'envisager un appel à projets auprès des industriels pour ***concevoir, à un coût raisonnable, un dispositif de localisation et de suivi des conteneurs sur le principe des pop-up tags ou mixant acoustique et GPS.***

## 4- CONCLUSIONS

### A- État des lieux des technologies existantes ou en développement

L'étude met en évidence les points suivants :

#### 1-Solutions de repérage et localisation des conteneurs

Les systèmes de repérage utilisés aujourd'hui pour localiser les conteneurs tombés en mer sont basés essentiellement sur des dispositifs de cartographie des fonds sous-marins (utilisant des mini-rovers sous-marins) et des systèmes de bouées géolocalisées (utilisées pour marquer les conteneurs retrouvés en mer). Les systèmes développés pour localiser les engins de pêche (utilisant un pinger et un hydrophone) et les pop-up tags (utilisés pour localiser les animaux marins) constituent une piste d'investigation intéressante.

Il pourrait être pertinent de proposer aux industriels (via par exemple un appel à projets) de mixer et d'adapter ces dispositifs à la problématique de recherche des conteneurs en mer afin de pouvoir proposer des solutions de localisation à un tarif compétitif.

#### 2- Modèles de suivi de la dérive des conteneurs

Les modèles de prévision des dérives évoluent continuellement pour toujours mieux prendre en compte les paramètres déterminants (météo, vent, courant etc.). Les modèles OSCAR (porté par le Cerema) et CURDRIFT (porté par la société ACTIMA) corrigent ainsi certaines limites du modèle MOTHY de Meteo France (principal modèle utilisé en France). Par ailleurs, les systèmes de cartographie dynamique (tels que ceux développés par la société eOdyn) constituent un support pertinent pour un modèle de prévision de dérive.

#### 3-Solutions de suivi de conteneurs par GPS

La quasi-totalité des solutions de suivi de conteneurs par GPS tracent les marchandises et non les conteneurs eux-mêmes. Elles sont inopérantes pour suivre la dérive d'un conteneur tombé en mer.

- Trois solutions spécifiques pour détecter les chutes et suivre les conteneurs tombés en mer sont en cours de développement, mais elles ont un prix élevé et comportent des limites, notamment pour les conteneurs immergés (des systèmes de balise éjectées sont étudiées pour y répondre)
- Compte tenu des difficultés pour l'émergence de solutions de traçage et de suivi des dérives, la priorité pourrait être donnée dans un premier temps aux technologies alertant sur les chutes de conteneurs.

*La solution la plus adaptée à la localisation des conteneurs tombés en mer pourrait passer par le mixage GPS/acoustique. Ce type de technique existe pour d'autres objets et pourrait être adapté à la problématique des conteneurs à des coûts raisonnables*

## B - Les perspectives technico-économiques pour le suivi des conteneurs en mer

***Le véritable enjeu pour la localisation et le suivi des conteneurs en mer est d'ordre économique. Il réside finalement dans le financement des équipements.***

- Les armateurs n'ont pas d'intérêt économique à équiper leurs conteneurs de dispositifs de suivi en mer. En raison du faible pourcentage des conteneurs qui chutent en mer, il n'est économiquement pas intéressant pour eux de tous les équiper d'un dispositif de suivi qui leur serait une charge supplémentaire (en investissement comme en entretien). En outre, les opérations de récupération coûtent bien souvent plus cher que les marchandises qu'ils contiennent. Par ailleurs, les applications existantes, se basant sur la position du navire quand il est en pleine mer, suffisent pour informer leurs clients.
- Il semble envisageable d'un point de vue technique, pour un industriel, de concevoir une solution dédiée à la localisation et au suivi des conteneurs. Si ces solutions font défaut aujourd'hui, ceci s'explique par le caractère peu lucratif du marché aux yeux des entreprises du transport maritime.

Par ailleurs, la recherche des conteneurs correspond à plusieurs enjeux pour :

- L'intérêt économique de l'armateur qui reste assez faible, sauf pour les marchandises de valeur
- La protection du milieu marin et du littoral, notamment lorsqu'il y a des matières dangereuses
- La sécurité de la navigation notamment dans les couloirs les plus fréquentés.

Il apparaît que l'enjeu environnemental et économique est très variable suivant le type de marchandises, alors que le coût des équipements est élevé. Par conséquent, il serait logique de commencer par équiper les conteneurs à fort enjeux contenant des matières dangereuses où des marchandises de valeur.

Aussi, au-delà de l'aspect technique des solutions, il conviendrait de trouver des leviers financiers (via des dispositifs d'aides par exemple) ou réglementaires qui inciteraient :

- Les industriels à concevoir les solutions techniques adaptées,
- Les armateurs à équiper tout ou partie de leurs conteneurs.



## 5 – ANNEXES

### 5.1 – Annexe 1 : Ressources

#### Ouvrages et articles

WORLD SHIPPING COUNCIL. Containers Lost At Sea – 2017 Update, 2017.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. Proposal for a new output on containers lost at sea in application of the action plan to address marine plastic litter from ships. IMO/MSC102/21, 2019.

GALGANI François, POITOU Isabelle, et COLASSE Laurent. Une mer propre, mission impossible? 70 clés pour comprendre les déchets en mer. Editions Quae, 2013.

MARTIN-DIT-NEUVILLE Grégory, et SCAPEL Christian. Les conteneurs tombés à la mer. Mémoire Master II-Université de Droit et sciences politiques Aix Marseille III, 2009.

VEIDIG FAVAREL Marie. Les dommages causés par les conteneurs tombés en mer. Mémoire Master II-Université de Droit et sciences politiques Aix Marseille III, 2014.

CEDRE. Conteneurs et colis perdus en mer. Guide opérationnel, 2011.

SURFRIDER FOUNDATION. Conteneurs à la mer, 10 Propositions pour la prévention de la perte des conteneurs, 2019.

INSTITUT FRANCAIS DE LA MER. Les très grands navires : questions et pistes de réponses, 2009.

#### Internet

<https://webgate.ec.europa.eu/maritimeforum/en/node/4405>

<https://www.la-croix.com/Economie/France/faire-contre-navires-perdent-conteneurs-mer-2019-01-07-1200993658>

<https://www.franceculture.fr/societe/a-la-recherche-du-conteneur-perdu>

[https://www.lepoint.fr/economie/conteneurs-echoues-aux-pays-bas-le-transporteur-promet-de-payer-le-nettoyage-05-01-2019-2283530\\_28.php](https://www.lepoint.fr/economie/conteneurs-echoues-aux-pays-bas-le-transporteur-promet-de-payer-le-nettoyage-05-01-2019-2283530_28.php)

<https://www.letelegramme.fr/bretagne/plages-depuis-30-ans-des-telephones-garfield-s-echouent-19-02-2019-12212859.php>

<https://lemarin.ouest-france.fr/articles/detail/items/pertes-de-conteneurs-en-mer-la-france-saisit-l'organisation-maritime-internationale.html>

## 5.2 – Annexe 2 : liste des acteurs interrogés

ORGANISME	Noms	Observations
Cedre	Corinne CAROFF	Centre de documentation, de recherche et d'expérimentations sur les pollutions accidentelles des eaux
KINEIS	Nelly LACHAUD	Entreprise
Actimar	Jean Pierre MAZE	Entreprise
Along track	Pierre FABRY	Entreprise
Scatri	Feref PINAR	Entreprise
CLS	Gaëtan FABRITIUS	Entreprise
Seatrackbox	Christophe THOMAS	Entreprise
NEXT4	Cedric ROSEMONT	Entreprise
IXBlue sonar	Lionel FAURE	Entreprise
SONARDYNE	Colin SUTHERLAND	Entreprise
ECA Group	Thomas ROURE	Entreprise
Subsea Tech	Grégory MAURIN	Entreprise
Octopus (ABB)	Mohamed AIT-MOULAY	Entreprise
AVA Maritime	Edouard REBIBO	Entreprise
eOdyn	Yann GUICHOUX	Entreprise
Traxens	Sylvain PREVOT	Entreprise
Sicmec	Patrice GILBERT	Entreprise
GICAN	Boris FEDOROVSKY	Groupement des Industries de Construction et Activités Navales
Technopole Brest Iroise	Juliette RIMETZ-PLANCHON	Incubateur
IEEE	René GARELLO	Institute of Electrical and Electronics Engineers
Bureau International Conteneurs - BIC	Bertrand GEOFFRAY	Organisme international
CEREMA	Jean Charles CORNILLOU	Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement



### **Cerema Risques, Eau et Mer**

134, rue de Beauvais - CS 60039 - 60280 Margny-Lès-Compiègne  
Tél : +33(0)3 44 92 60 00 - mel : [dtecemf@cerema.fr](mailto:dtecemf@cerema.fr)

[www.cerema.fr](http://www.cerema.fr)