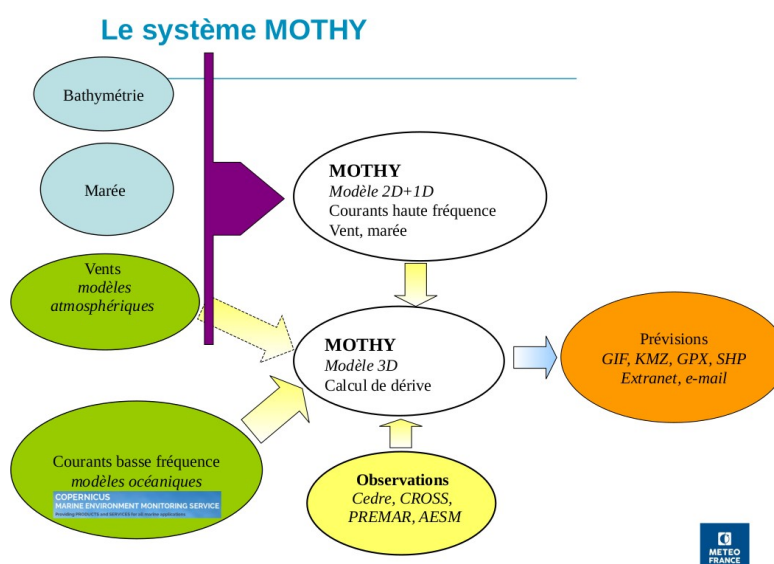


## Documentation MOTHY (version 5.2)

7 février 2024

Le système MOTHY, utilisé pour prévoir la dérive en mer de nappes de pétrole ou d'objets flottants, se décline en trois versions:

- Dérive en surface/subsurface des hydrocarbures;
- Dérive des conteneurs, parallélépipèdes rectangle;
- Cibles SAR - Recherche et Sauvetage.



C'est un système d'intervention d'urgence:

- temps de réponse généralement inférieur à 30 min
- disponibilité h24
- capacité de réponse sur tout le globe
- accès en temps réel aux données de forçage (vents, courants)

### Limites d'utilisation

- Il est déconseillé d'utiliser MOTHY dans les zones suivantes :
  - A proximité ou dans les estuaires. Le débit du fleuve n'est pas pris en compte, ni les changements de densité.
  - Sur la zone de l'estran. Les zones découvrant à la basse mer ne sont pas modélisées.
  - A proximité des côtes sujettes aux courants de baie. Ces courants dus aux vagues, ne sont pas représentés.
  - Sur les eaux intérieures (lacs).
- L'utilisation de MOTHY pour des objets de plus de 30 m de long (grands navires) peut entraîner des erreurs lors de situations de fortes vagues.

## 1. Formuler une demande de dérive

La demande se fait en renseignant un formulaire spécifique. Il y a un formulaire pollution et un formulaire SAR.

Les formulaires sont disponibles ici :

<http://www.meteo.fr/special/minisites/MARINE/derives/aem/mothy/formulaire/index.html>

Éléments importants:

- renseigner toutes les cases
- attention aux unités
- envoyer d'abord le fax
- puis téléphoner

### Mise à disposition des résultats

- Les résultats sont mis à disposition sur un site Internet dédié : <http://www.meteo.fr/special/minisites/MARINE/derives/aem/mothy>
- En secours, il est aussi possible d'envoyer les résultats par courriel ou par télécopie.
- Les résultats sont présentés sous forme de cartes et d'animations. Ils sont aussi fournis sous forme de fichiers numériques en format KMZ, GPX et SHP.

	<b>Dérives MOTHY pour l' Action de l'Etat en Mer</b> <b>30 dernières simulations</b> <b>ATTENTION : Informations à usage restreint et destinées à être utilisées dans le cadre institutionnel. Simulations pollution n'intégrant pas l'expertise indispensable du CEDRE.</b>	<a href="#">Documentation MOTHY</a>	<a href="#">Formulaires personnalisés</a>
<p>Cliquer sur le lien (la ligne) correspondant à la simulation désirée pour avoir accès aux résultats (cartes). Chaque ligne décrit les différents paramètres d'entrée de la simulation correspondante, dans l'ordre suivant :</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- date et heure de lancement de la dérive</li><li>- nom de l'objet ou du polluant</li><li>- type de dérive : directe ou rebours</li><li>- modèle atmosphérique utilisé</li><li>- résolution de la bathymétrie utilisée (en minutes)</li><li>- latitude et longitude du point de départ de la simulation</li></ul>			
<ul style="list-style-type: none"><li>• Sun Jun 4 21:53:15 GMT 2023 - Personne a la mer - CROSSANT - REBOURS - AROME ANTILLES - MERCATOR 1/12 - BR - lat :14.4080 lon=-60.8980</li><li>• Sun Jun 4 20:59:40 GMT 2023 - Petrole Brut Leger - CROSSLGD - REBOURS - AROME - MFS - BR - lat :43.7417 lon=7.4992</li><li>• Sun Jun 4 20:39:13 GMT 2023 - Petrole Brut Leger - CROSSLGD - REBOURS - AROME - MFS - BR - lat :43.7708 lon=7.4992</li><li>• Sun Jun 4 12:21:16 GMT 2023 - Gasoil - CROSS-ANTILLES-GUYANE - DIRECT - CEP - MERCATOR PSY4 100m - 1 - lat=7.8588 - lon=-49.4878</li><li>• Sun Jun 4 11:33:15 GMT 2023 - Gasoil - CROSS-ANTILLES-GUYANE - REBOURS - CEP - MERCATOR PSY4 100m - 1 - lat=7.8588 - lon=-49.4878</li><li>• Sat Jun 3 00:39:18 GMT 2023 - Personne a la mer, - CROSSPAP - \030 - CEP - MERCATOR 1/12 - BR - lat : -5.5000 lon=-122.0000</li><li>• Fri Jun 2 22:35:49 GMT 2023 - Kayak de mer avec - CROSSPAP - \030 - CEP - RIEN - BR - lat : -5.5000 lon=-122.0000</li><li>• Fri Jun 2 22:24:04 GMT 2023 - Personne a la mer, - CROSSPAP - \030 - CEP - RIEN - BR - lat : -5.5000 lon=-122.0000</li><li>• Fri Jun 2 18:21:00 GMT 2023 - Brut Lourd - CROSSAJ0 - \030 - ARPEGE01 - MFS - BR - lat :41.5525 lon=8.5568</li><li>• Fri Jun 2 15:03:30 GMT 2023 - Yole coque en V - CROSSANT - \030 - CEP - MERCATOR 1/12 - BR - lat :14.9918 lon=-61.6372</li><li>• Fri Jun 2 03:19:03 GMT 2023 - Baleine - PREMED - \030 - ARPEGE01 - MFS - BR - lat :42.6833 lon=5.8333</li><li>• Thu Jun 1 21:21:21 GMT 2023 - Personne a la mer, - CROSSPAP - \030 - CEP - MERCATOR 1/12 - BR - lat : -5.5000 lon=-122.0000</li><li>• Thu Jun 1 20:05:47 GMT 2023 - Personne a la mer, - CROSSPAP - \030 - CEP - MERCATOR 1/12 - BR - lat : -4.5245 lon=-114.8875</li><li>• Thu Jun 1 16:52:57 GMT 2023 - Kayak de mer avec - CROSSPAP - \030 - CEP - MERCATOR 1/12 - BR - lat : -5.5000 lon=-122.0000</li><li>• Thu Jun 1 03:35:51 GMT 2023 - Brut Lourd - CROSSAJ0 - REBOURS - ARPEGE01 - MFS - BR - lat :43.8523 lon=8.6333</li></ul>			

Direction des Opérations pour la Prévision

Département Prévision Marine et Océanographique

42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, France. tél. : 05 61 07 80 80. Fax : 05 61 07 80 09.

Météo-France, Établissement Public Administratif. SIRET 180 060 030 00442. Code APE 751 E.



## 2. Dérive des hydrocarbures

Cette version traite des hydrocarbures et des huiles végétales.

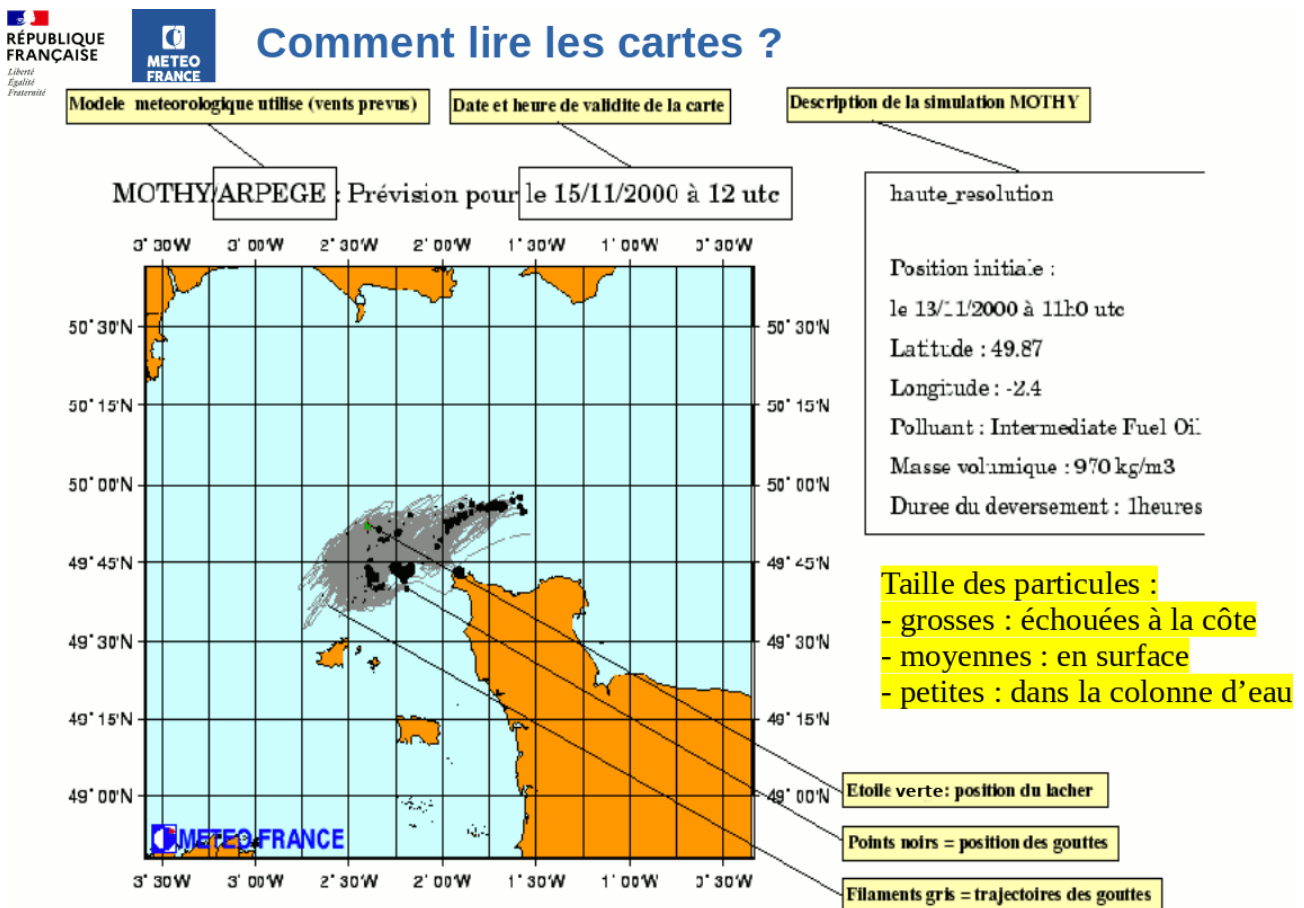
La nappe est représentée par un ensemble de particules : 1000 particules pour un déversement ponctuel et instantané, 3000 particules pour une fuite continue, 8670 particules pour une nappe initialisée par un polygone ou une ligne brisée, jusqu'à 10000 particules pour une nappe teledétectée (CleanSeaNet).

### 2.1 Initialisation à partir d'un point

Cela concerne des déversements instantanés ponctuels ou des nappes de faible étendue géographique.

Le point de départ de la pollution est représenté par une étoile verte. Les trajectoires des polluants sont en gris (échantillonnage horaire).

La nappe est représentée par un nuage de points : Il existe trois tailles de points. Les points les plus gros sont échoués à la côte. Les points de taille moyenne représentent le pétrole en surface et les points les plus petits représentent le pétrole dans la colonne d'eau. Les particules échouées sur le fond marin ne sont pas représentées.



Direction des Opérations pour la Prévision

Département Prévision Marine et Océanographique

42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, France. tél. : 05 61 07 80 80. Fax : 05 61 07 80 09.

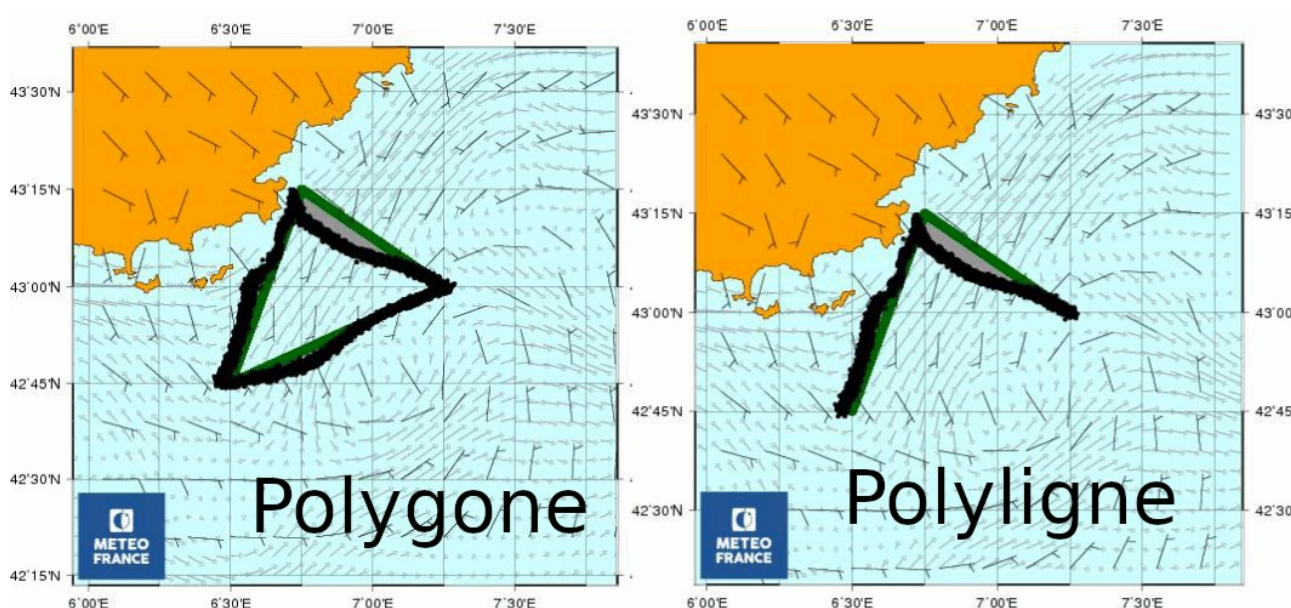
Météo-France, Établissement Public Administratif. SIRET 180 060 030 00442. Code APE 751 E.



## 2.2 Initialisation à partir d'une ligne brisée ou d'un polygone

Cela concerne les rejets opérationnels des navires (ligne brisée) ou cela permet de circonscrire un ensemble de nappes (polygone).

2 à 9 points peuvent être saisis. Le dernier point est relié au premier dans le cas d'un polygone. Avec 3 points, on a un triangle pour un polygone, alors qu'on a 2 segments de droite pour une ligne brisée. La nappe est initialisée avec 8670 particules de taille aléatoire, réparties uniformément sur le contour de la ligne ou du polygone. Sur les cartes, la position initiale est dessinée en vert.



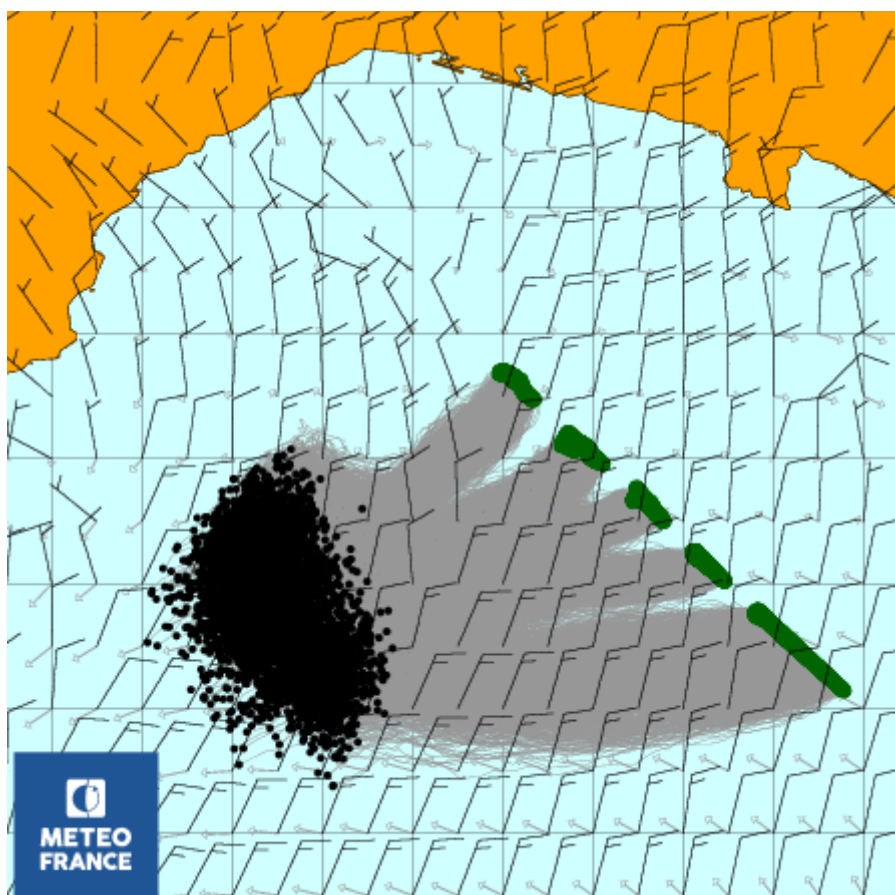
Exemple d'initialisation par 3 points : polygone et ligne brisée.



### 2.3 Initialisation à partir de détections CleanSeaNet

Il est possible d'initialiser MOTHY par des nappes étendues issues de télédétection par satellite du système CleanSeaNet de l'Agence Européenne de Sécurité Maritime (EMSA).

Actuellement, il faut passer par le Cedre pour faire ce type de demande. Le Cedre sélectionne le fichier envoyé par l'EMSA, puis l'envoie sur les serveurs de Météo-France. Le prévisionniste marine peut alors activer MOTHY à partir des données télédétections. La date et l'heure de l'observation sont lues dans le fichier, de même que la densité du produit (normalement 900 kg/m<sup>3</sup>). Un traitement est ensuite effectué pour transformer le fichier d'origine constitué de polygones qui suivent les contours des nappes en pixels ou particules. Ce processus de rasterisation consiste à remplir les polygones par des pixels de 40 mètres de côté. Si le nombre de pixels dépasse 9999, on refait un calcul avec des pixels plus grands pour avoir un maximum de 9999 particules.



Exemple d'initialisation à partir de 5 nappes détectées par satellite issues du service CleanSeaNet de l'EMSA.

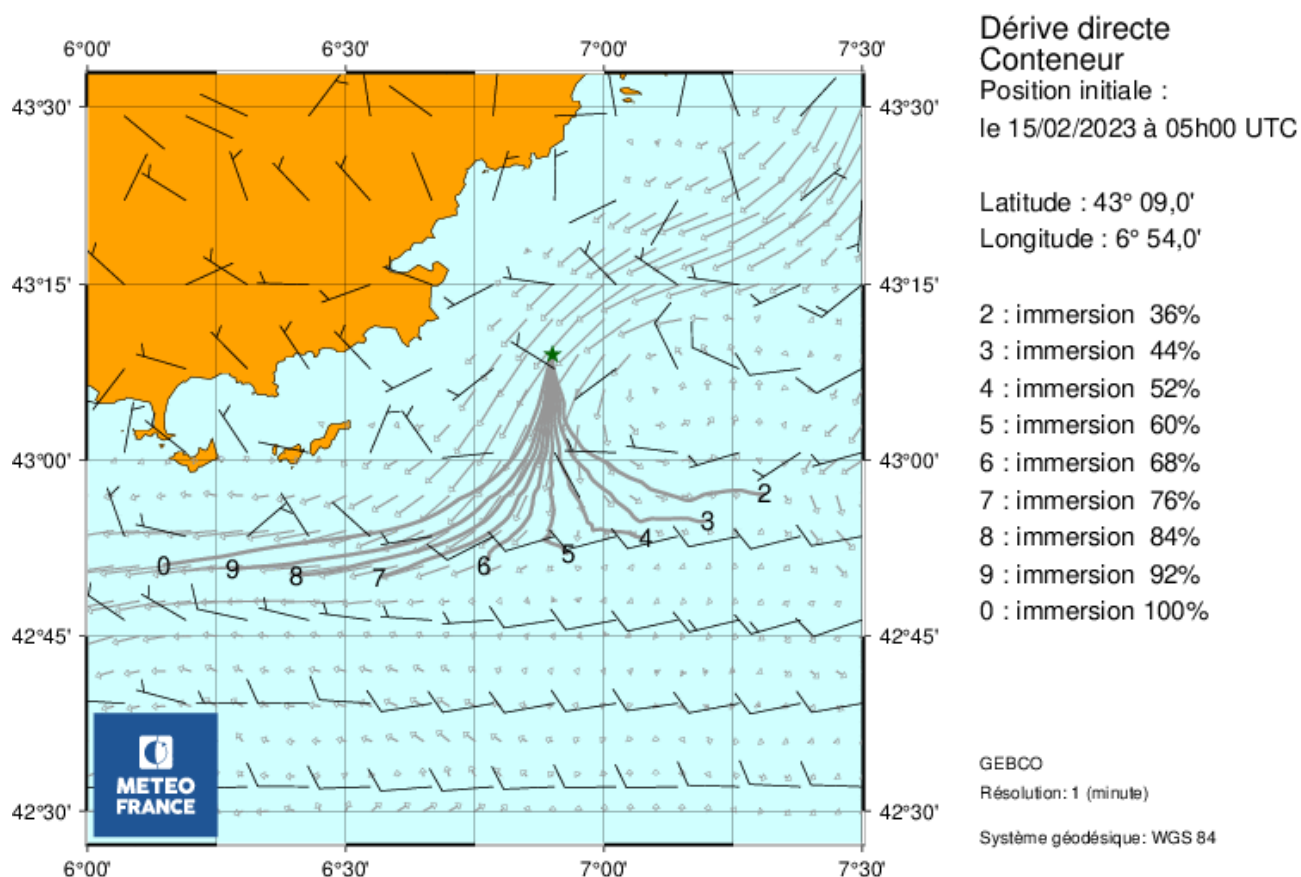
### 3. Dérive des conteneurs, parallélépipèdes rectangle

On calcule la dérive de parallélépipèdes rectangle, dont la taille est ajustée à la taille réelle des objets à suivre.

On fait diverses hypothèses sur le pourcentage d'immersion (de 36 à 100% d'immersion). Les chiffres sur la carte représentent ces différents pourcentages d'immersion. Les objets sont représentés par des chiffres de 0 à 9, en fonction de leur immersion (de 36 % à 100 %, par pas de 8 %). Un taux de 100% correspond à un objet qui affleure à la surface de l'eau.

Ce module est utilisé principalement pour calculer les dérives de conteneurs. Il sert aussi pour les dérives de baleine, dont la flottabilité (et donc le taux d'immersion) varie en fonction du volume de gaz présents lors du processus de putréfaction.

MOTHY/AROME MFS : Prévision pour le 17/02/2023 à 05 UTC



Exemple de carte de prévision de dérive de conteneur.

Direction des Opérations pour la Prévision

Département Prévision Marine et Océanographique

42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, France. tél. : 05 61 07 80 80. Fax : 05 61 07 80 09.

Météo-France, Établissement Public Administratif. SIRET 180 060 030 00442. Code APE 751 E.



## 4. Cibles SAR - Recherche et Sauvetage

Cette version s'applique à 91 cibles SAR, dont la liste figure ici :

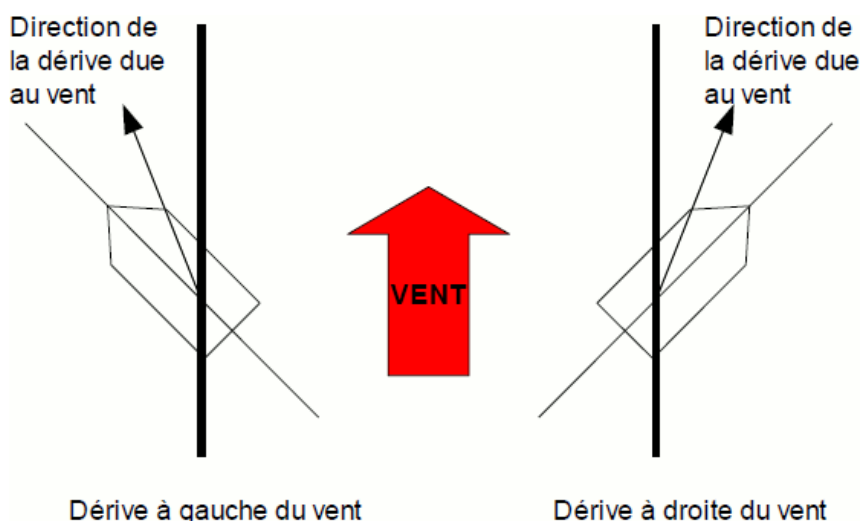
<http://www.meteorologie.eu.org/mothy/doc/sar/cibles-sar.html>

Elle est basée sur le résultat d'expérimentations en mer, menées en Europe, au Japon, et par le service des Gardes Côtes américain (cibles 1 à 57). Elle utilise aussi des données provenant des retours d'expérience des CROSS et MRCC. Elle est mise en œuvre selon une technique élaborée par le service météorologique norvégien.

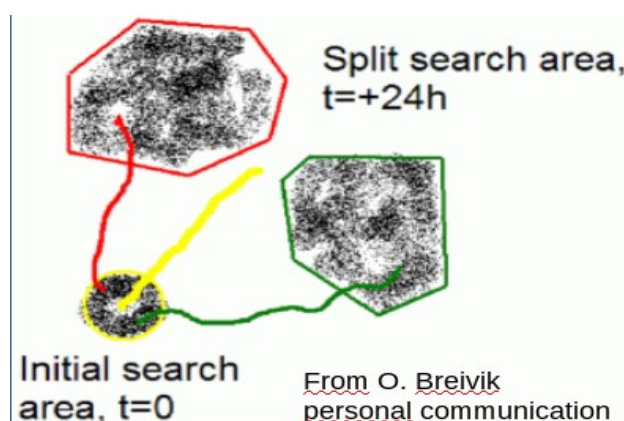
### 4.1 principe du calcul de dérive

On simule la dérive de 8670 objets dont les caractéristiques suivent une distribution statistique ce qui permet d'associer une probabilité aux prévisions de dérive.

L'orientation initiale de l'objet détermine la dérive à droite ou à gauche du vent.



Ce qui conduit à 2 zones de recherche :



Direction des Opérations pour la Prévision

Département Prévision Marine et Océanographique

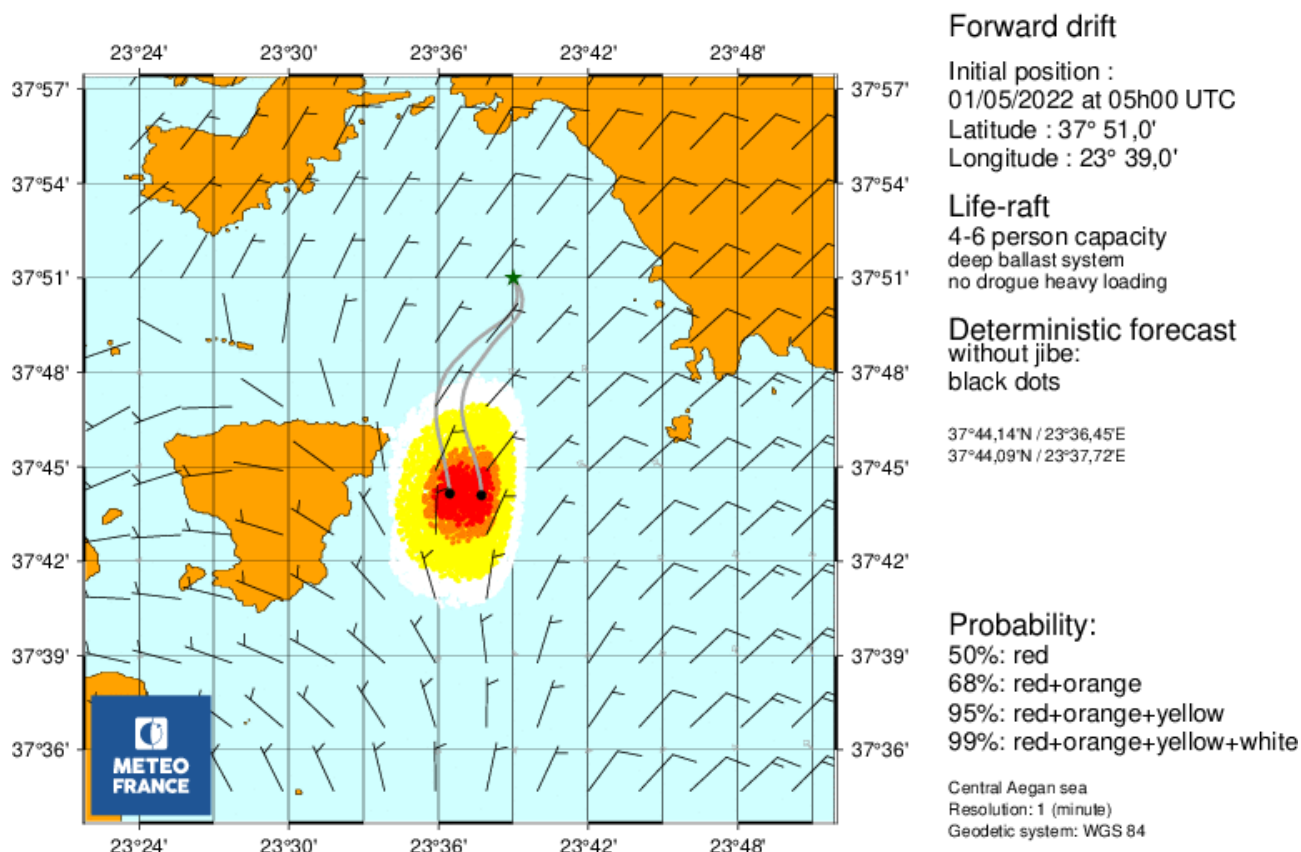
42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, France. tél. : 05 61 07 80 80. Fax : 05 61 07 80 09.

Météo-France, Établissement Public Administratif. SIRET 180 060 030 00442. Code APE 751 E.



Les positions de dérive à droite et à gauche ne sont généralement pas stables. L'objet peut changer d'amure sous l'effet des conditions environnementales, principalement des vagues. La fréquence recommandée pour tenir compte de ces changements d'amure dans une simulation stochastique est de 4% par heure. C'est ce qui est appliqué dans MOTHY.

#### MOTHY/ECMWF MFS : Forecast for 01/05/2022 at 12 UTC



Dans la dérive des deux points noirs seule l'incertitude sur l'orientation initiale est prise en compte.

L'incertitude sur la dérive liée aux caractéristiques de l'objet et à l'environnement, ainsi que les changements d'amure, sont pris en compte dans la dérive des points de couleur.

Les points rouges, oranges, jaunes et blancs correspondent à une probabilité de présence:

- 50% pour les points rouges
- 68% pour les points rouges et oranges
- 95% pour les points rouges, oranges et jaunes
- 99% pour les points rouges, oranges, jaunes et blancs.



## 4.2 Dérive des grands navires

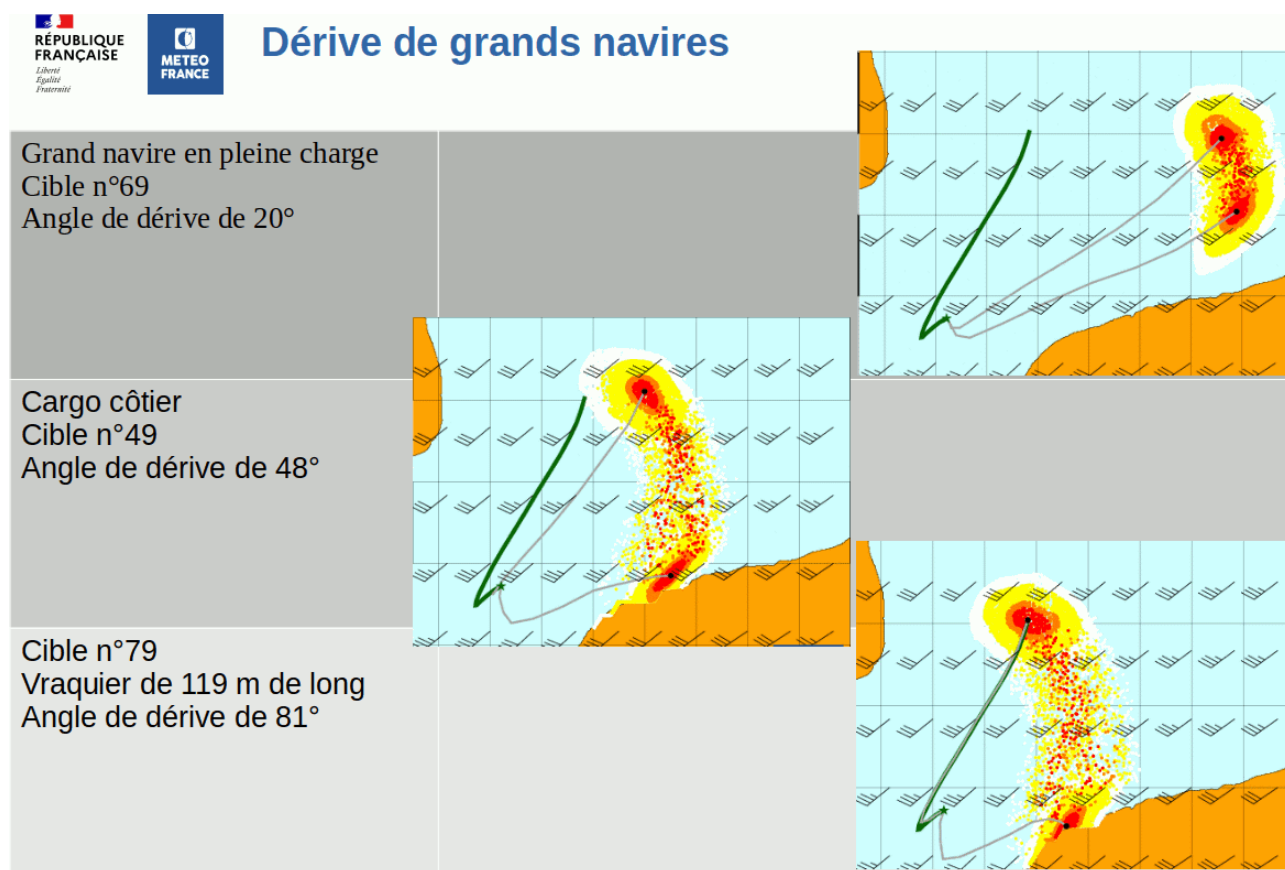
La dérive de grands navires est largement impactée par le positionnement du navire par rapport au vent. Dans la liste des cibles proposées, il faut tenir compte de cet élément essentiel.

Les angles disponibles sont :

- 48°, cible n°49, cargo côtier ;
- 20°, cibles 69 et 70, grands navires (250 m) en pleine charge ou à vide ;
- 65°, cible n°73, navire roulier avec 50 degrés de gîte ;
- 81°, cible n°79, vraquier de 229 m, travers au vent ;
- 24°, cible n°81, navire-citerne de 76 m de long, à vide.

En absence d'information disponible sur le positionnement du navire, on choisira la cible n°49.

L'exemple ci-dessous, dans le détroit du Pas de Calais, illustre les différences de dérive selon les choix réalisés. Le choix de la cible n°79 reproduit parfaitement la dérive observée (en vert), le navire étant positionné travers au vent.



## 5. Forçages atmosphériques et océaniques

### 5.1 Vents

La mise en œuvre du modèle MOTHY par un prévisionniste marine permet de s'assurer d'avoir le meilleur forçage atmosphérique disponible pour le calcul de la dérive.

Les forçages atmosphériques disponibles sont résumé dans le tableau ci-dessous.

Modèles déterministes				
Nom du modèle	Zone	Résolution	Plage temporelle	Mise à jour
ARPEGE	global	0,1° (20°N, 72°N, 32°W, 42°E) 0,5° ailleurs	J-19 à J+4	4 fois par jour
AROME	France (38°N, 53°N, 8°W, 12°E)	1,3 km	J-19 à J+2	4 fois par jour
AROME Antilles	Antilles (11°N, 22°N, 67°W, 53°W)	2,5 km	J-19 à J+2	4 fois par jour
AROME Guyane	Guyane (2°N, 8°N, 56°W, 47°W)	2,5 km	J-19 à J+2	4 fois par jour
AROME Indien	SW Océan Indien (25°S, 8°S, 33°E, 67°E)	2,5 km	J-19 à J+2	4 fois par jour
AROME Nouvelle Calédonie	Nouvelle Calédonie (26°S, 14°S, 159°E, 171°E)	2,5 km	J-19 à J+2	4 fois par jour
AROME Polynésie	Polynésie Française (25°S, 13°S, 157°W, 145°W)	2,5 km	J-19 à J+2	2 fois par jour
IFS	global	0,125°	J-19 à J+5	2 fois par jour
Modèles probabilistes				
PEARP	(35°N, 61°N, 15°W, 17°E)	0,25°	J à J+4	2 fois par jour
EPS	global	0,5°	J à J+10	1 fois par jour

## 5.2 Courants

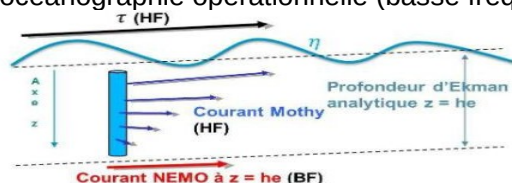
MOTHY calcule le courant haute fréquence dû au vent et à la marée.

Les courants basse fréquence sont fournis par les systèmes d'océanographie opérationnelle.

Systèmes d'océanographie opérationnelle				
Nom du modèle	Zone	Résolution	Plage temporelle	Mise à jour
Mercator GLO12	global	1/12°	J-19 à J+9,5	1 fois par jour
MFS	Méditerranée	1/24°	J-19 à J+6,5	1 fois par jour

### Modes d'intégration :

Hors zone équatoriale (12°S – 12°N), courant total = MOTHY (haute fréquence: vent + marée) + océanographie opérationnelle (basse fréquence: courant à la base de la couche d'Ekman)



En zone équatoriale (12°S – 12°N), courant total = MOTHY (haute fréquence: vent + marée) + océanographie opérationnelle (basse fréquence: courant moyen sur les 100 premiers mètres)

### Évolutions prévues en 2024 :

- Un nouveau système haute résolution aux Antilles : ARCAN36, 1/36°.
- SCHISM : Nouvelle Calédonie, 1/200°
- IBI : Nord-ouest Europe et péninsule ibérique, 1/36°

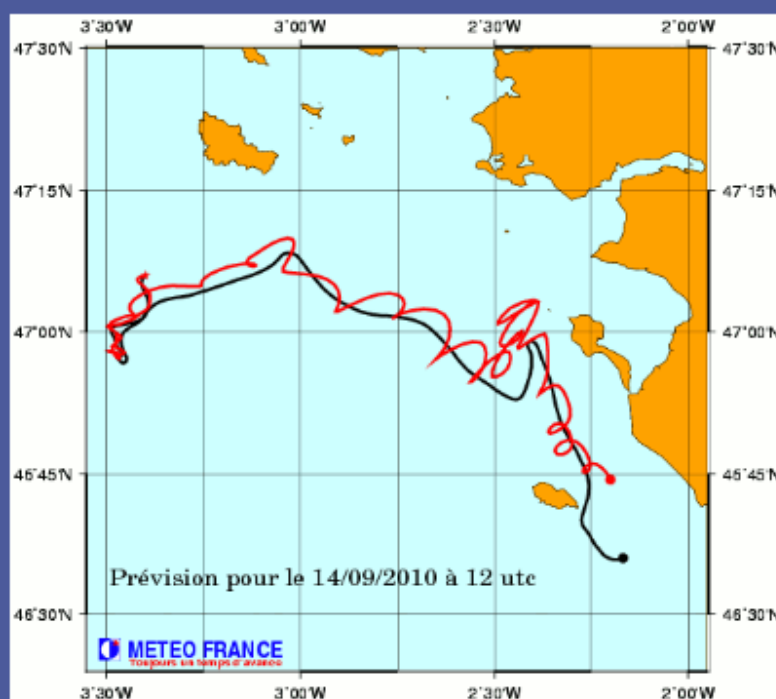
## 6. Marée

Les courants de marée sont calculés sur les zones suivantes:

- Mer du Nord
- Manche
- Mer d'Iroise
- Golfe de Gascogne
- Ouest Portugal
- Mer Rouge
- Golfe Persique
- St-Pierre-et-Miquelon

### Importance de la marée

- Loin des côtes: impact faible sur la dérive générale
- Exemple: dérive de 12 jours dans le Golfe de Gascogne
- noir: sans marée;
- rouge: avec marée





## 7. Calcul de la dérive

Le courant utilisé pour calculer la dérive résulte de la combinaison des courants calculés par MOTHY (modèles 2D+1D) et des courants de grande échelle fournis par les systèmes d'océanographie opérationnelle (Mercator ou MFS). Les calculs sont fait toutes les 5 minutes.

**Hydrocarbures:** on calcule le déplacement de chaque particule, en fonction du courant horizontal à la profondeur de la particule, de sa flottabilité (mouvement vertical qui dépend de la taille et de la densité de la particule) et de la turbulence (mouvement 3D). Il n'y a pas d'action directe du vent sur les particules. Celles qui sont à la surface sont entraînées par le courant de surface.

**Conteneurs:** on calcule la force due au courant sur la partie immergée et celle due au vent sur la partie émergée.

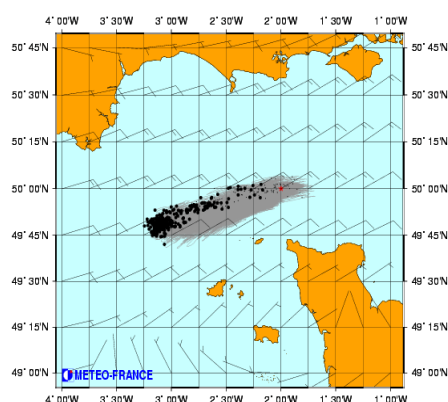
**Cibles SAR:** on prend le courant à 1 m de profondeur et le vent à 10 m ajusté par des coefficients de dérive.

En mode opérationnel (réponse h24), le calcul de dérive n'est possible qu'à partir d'une position connue postérieure à J-19.

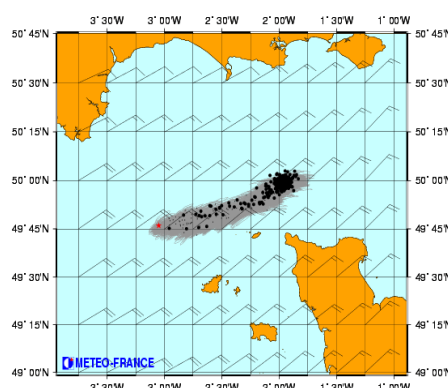
### Dérive à rebours

Le calcul à rebours permet de remonter dans le temps pour identifier la source d'une pollution ou l'origine d'un objet. On peut remonter jusqu'à J-19. La dispersion du pétrole est calculée de la même manière qu'en mode direct.

MOTHY/ARPEGE,DIRECT : Prévion pour le 19/09/2002 à 12 utc



MOTHY/ARPEGE,REBOURS : Prévion pour le 14/09/2002 à 12 utc



Position initiale :  
le 19/09/2002 à 12h00 utc  
Latitude : 49° 46,00'  
Longitude : -3° 03,00'  
Polluant : Pétrole brut léger  
Masse volumique : 820 kg/m<sup>3</sup>

## 8. Prévisions probabilistes

La prévision du vent est une source d'incertitude dans le calcul des dérives. Pour estimer cette incertitude, on effectue des calculs de dérive à partir de plusieurs scénarios atmosphériques.

Météo-France a mis au point un système de prévision d'ensemble à courte échéance, ciblé sur l'Europe, basé sur son modèle global de prévision ARPEGE (PEARP). 35 scénarios météorologiques, supposées équiprobables, permettent de calculer 35 dérives jusqu'à 102 heures d'échéance.

Le Centre Européen pour les Prévisions Météorologiques à Moyen terme (CEPMMT) a mis au point un système de prévision d'ensemble à moyenne échéance, basé sur son modèle global de prévision IFS (EPS). 51 scénarios météorologiques, supposées équiprobables, permettent de calculer 51 dérives jusqu'à 10 jours d'échéance.

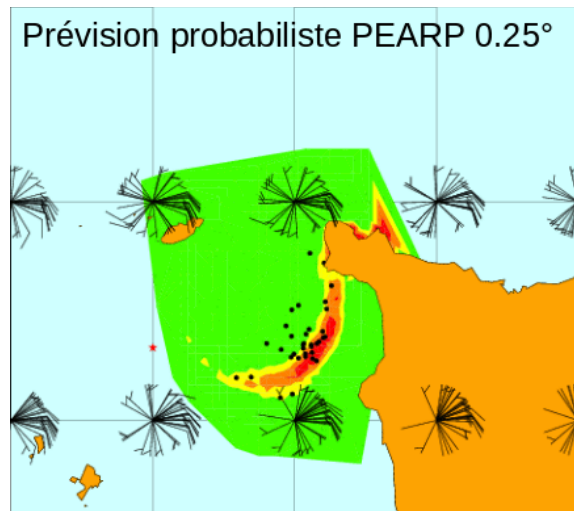
Les résultats sont synthétisés sur une seule carte sur laquelle on trace les barycentres des têtes de nappe représentés par des points noirs. Les probabilités de présence de pétrole sont représentées par des couleurs:

- en vert: présence d'au moins 1% de pétrole pour moins de 25% des scénarios.
- en jaune: présence d'au moins 1% de pétrole pour 25% à 50% des scénarios.
- en orange: présence d'au moins 1% de pétrole pour 50% à 75% des scénarios.
- en rouge: présence d'au moins 1% de pétrole pour plus de 75% des scénarios.

Exemple de prévisions de dérive avec la PEARP.

Les vents des 35 scénarios sont tracés sur la grille du modèle atmosphérique au 1/4° (prévision à 72 heures).

La prévision probabiliste indique un risque de pollution (<25%) tout autour de l'île d'Aurigny et sur la côte du Cotentin jusqu'à Flamanville, ce que n'indiquait pas la prévision déterministe.

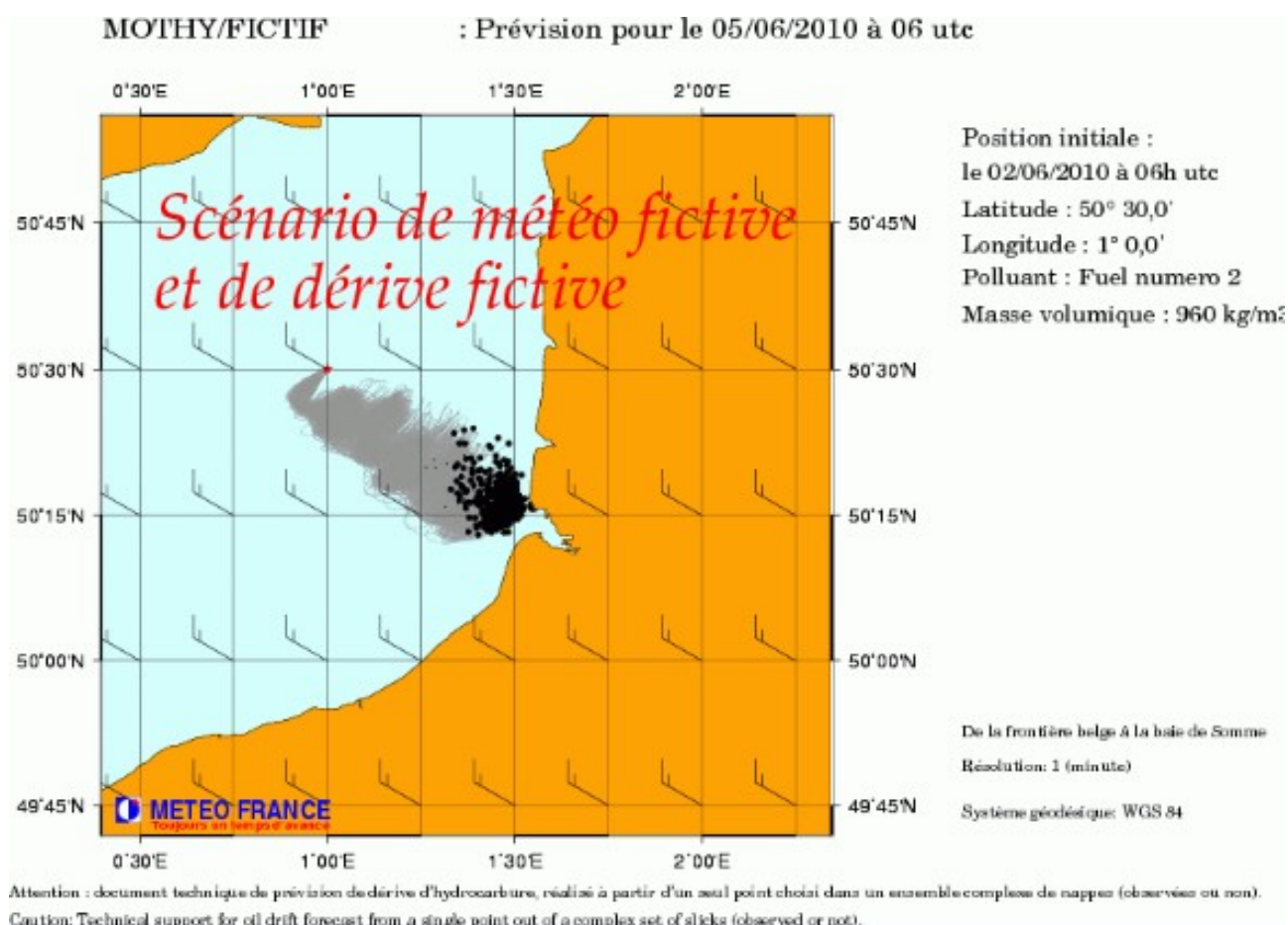


## 9. Météo fictive

Cette option permet d'effectuer des calculs de dérive sur un scénario simple de forçage atmosphérique.

Contraintes :

- vent constant (force et direction) sur toute la durée de la simulation ;
- on peut choisir n'importe quelle date passée ou future ;
- le caractère fictif de la simulation figure sur les cartes ;
- disponible en heures de bureau uniquement.



Direction des Opérations pour la Prévion

Département Prévion Marine et Océanographique

42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, France. tél. : 05 61 07 80 80. Fax : 05 61 07 80 09.

Météo-France, Établissement Public Administratif. SIRET 180 060 030 00442. Code APE 751 E.



## 10. Sargasses

Météo-France opère depuis 2019 un service de prévision des échouements des algues sargasses sur les Antilles françaises et la Guyane.

La chaîne de production comprend :

- La télédétection. Réalisée par le Centre de Météorologie Spatiale (Lannion) à partir des satellites AQUA, TERRA, Sentinel 3A&3B, Suomi NPP, NOAA 20 et 21.
- La prévision de dérive jusqu'à 4 jours. Réalisée par le département Prévision Marine et Océanographique à Toulouse.
- La production de bulletins. Réalisée par la Direction Interrégionale Antilles Guyane.
  - <https://meteofrance.mq/fr/sargasses>
  - <https://meteofrance.gp/fr/sargasses>
  - <https://meteofrance.gf/fr/sargasses>



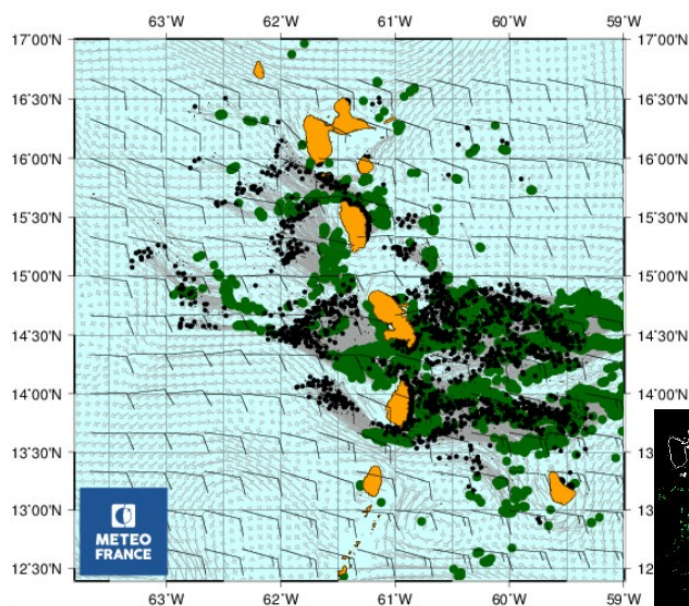
### Service sargasses



### Bulletin de surveillance et de prévision d'échouage des sargasses pélagiques pour la Martinique

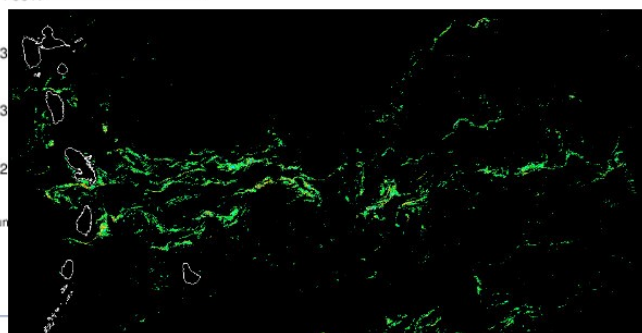
Vendredi 22 Mai 2020  
Carte de risques d'échouages pour les 4 prochains jours:

MOTHY/CEP MERCATOR\_PSY4 : Prévision pour le 11/01/2019 à



Attention : document technique de prévision de dérive d'hydrocarbure, réalisé à partir d'un seul point choisi dans un  
Caution: Technical support for oil drift forecast from a single point out of a complex set of slicks (observed or not).

Indice de confiance : 3/5



Direction des Opérations pour la Prévision

Département Prévision Marine et Océanographique

42, Avenue Gaspard Coriolis, 31057 Toulouse Cedex 1, France. tél. : 05 61 07 80 80. Fax : 05 61 07 80 09.

Météo-France, Établissement Public Administratif. SIRET 180 060 030 00442. Code APE 751 E.





## 11. Etudes

Voici quelques exemples d'études spécifiques réalisées.

- fuite continue d'hydrocarbures issus d'une épave. Exemple : <http://www.meteorologie.eu.org/mothy/fuites-epaves/tanio/> ;
- étude d'impact de scénarios de lutte contre une marée noire (Agence Européenne de Sécurité Maritime) ;
- dérives de pièces d'avion (MS804 en Méditerranée : épave retrouvée 12 jours après l'accident, en croisant des rétro-dérives d'hydrocarbures et de débris) ;
- dérives de corps (sur réquisition judiciaire) ;
- dérive du PolarPod autour de l'Antarctique (projet J.L. Etienne) ;
- dérives de graines de betterave maritime en Manche (Université de Lille)
- dérives de carcasses de cétacés (Université de La Rochelle) ;

