



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**PRODUIT T1.2.2**

Projet

**SPLasH & Co**

***Stop aux plastiques dans H2O en période de COVID***



**Università  
di Genova**



**EUROPEAN  
RESEARCH  
INSTITUTE**



**UNIVERSITÉ DE  
TOULON**

**ACTIVITÉ T1: CAPITALISATION**

**PRODUIT T1.2.2: SCÉNARIOS DE DISPERSION DES DÉCHETS FLOTTANTS  
LIÉS À LA PANDÉMIE DE COVID-19**

Partenaire responsable: UNIGE

Partenaires contributeurs: UTLN, ERI



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



**SPLasH  
&Co**

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

**PRODUIT T1.2.2**

## **INDEX**

<b><i>Description</i></b> .....	<b><i>i</i></b>
<b><i>Descrizione del prodotto</i></b> .....	<b><i>i</i></b>
<b>1. INTRODUCTION</b> .....	<b>1</b>
<b>2 MODÉLISATION NUMÉRIQUE DE L'HYDRODYNAMIQUE CÔTIÈRE</b> .....	<b>1</b>
<b>3 SÉLECTION DE SCÉNARIOS MÉTÉOROLOGIQUES ET MARITIMES REPRÉSENTATIFS</b> ....	<b>4</b>
<b>4 CALCUL DE LA DISPERSION NON INERTIELLE DES PARTICULES</b> .....	<b>8</b>



# Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



### PRODUIT T1.2.2

#### Description

Une série d'études a été menée sur la dispersion des déchets flottants, tels que les masques et les gants jetables, dans l'environnement marin, en considérant la zone portuaire comme destinataire de la gestion inadéquate des déchets dans les zones urbaines et, par conséquent, comme une source potentielle de pollution. Ce document résume l'approche utilisée pour tracer les trajectoires de ces polluants, ce qui est essentiel pour les localiser à temps et adopter les mesures d'atténuation qui s'imposent.

#### Descrizione del prodotto

È stata realizzata una serie di studi inerenti la dispersione in ambiente marino di rifiuti galleggianti, quali mascherine e guanti usa e getta, considerando l'area portuale come destinataria di una deficitaria gestione dei rifiuti in ambito urbano e quindi come potenziale sorgente di inquinamento. Il presente documento sintetizza l'approccio utilizzato per il tracciamento delle traiettorie di siffatti inquinanti, imprescindibile per localizzarli in modo tempestivo e adottare conseguenti misure di mitigazione.



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



**SPLasH  
&Co**

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

## **PRODUIT T1.2.2**

### **1. INTRODUCTION**

La pandémie de Covid-Sars 2, qui a frappé le monde en plusieurs vagues depuis 2019, a nécessité de prendre des mesures préventives extraordinaires pour contenir sa propagation. Les moyens médicochirurgicaux tels que les désinfectants, les gants en latex et les masques de protection à usage unique, obligatoires pour accéder aux lieux clos au pic de la pandémie, se sont banalisés : une estimation mise à jour en juin 2022 a quantifié à 46 milliards le nombre de masques utilisés en Italie depuis le début des mesures d'endiguement de la pandémie. Cette quantité de déchets, bien qu'inévitable, représente un dommage potentiellement important pour l'environnement, notamment en raison de mesures d'élimination inadéquates, imputables en partie à la soudaineté de la pandémie.

En effet, il existe de nombreuses preuves de la pollution induite par les produits liés à la pandémie, en particulier dans l'environnement marin, qui représente souvent le collecteur ultime des déchets non traités. Il est donc crucial de comprendre comment ces polluants peuvent se disperser dans la mer une fois qu'ils l'atteignent, portés par différents mécanismes tels que le vent, les vagues, les marées et les grands courants marins. Dans le cadre du projet SPLasH &Co, des analyses ont donc été développées pour retracer les trajectoires des déchets flottants liés à la pandémie dans la zone portuaire de Gênes, Italie. Ces analyses s'appuient sur les modèles hydrodynamiques les plus récents capables de reproduire les champs d'écoulement au large et près des côtes, associés à des conditions météorologiques-marines spécialement sélectionnées pour représenter la variabilité climatique de la zone d'étude, et sur des codes de calcul permettant d'évaluer la dispersion des polluants potentiels.

Le présent document résume les analyses précédemment mentionnées, en détaillant le logigramme et en décrivant les modèles utilisés, ainsi que les résultats pour certains scénarios météorologiques et marins d'intérêt spécifique.

### **2 MODÉLISATION NUMÉRIQUE DE L'HYDRODYNAMIQUE CÔTIÈRE**

Le calcul des courants littoraux dans la zone du projet a été effectué à l'aide du modèle numérique Delft3D. Ce modèle est l'un des plus utilisés dans le domaine côtier aujourd'hui, et consiste en une suite de codes de calcul développés par Deltares, anciennement connu sous le nom de Delft Hydraulics, et destinés à la modélisation numérique des zones côtières, fluviales et deltaïques (<https://oss.deltares.nl/web/delft3d/get-started>). Delft3D se compose de plusieurs modules qui peuvent être exécutés de manière indépendante ou qui peuvent être couplés en échangeant leurs résultats respectifs. Dans le cadre de ce projet, le module Delft3D-FLOW a été particulièrement utilisé. Il permet de modéliser l'hydrodynamique et un flot de solides induits par une large gamme de forçages tels que les marées, les vagues de mer, les décharges anthropiques, les forçages atmosphériques, etc.



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



**SPLasH  
&Co**

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

## **PRODUIT T1.2.2**

Les équations gouvernantes, résolues au moyen de schémas numériques grâce à la méthode des différences finies, traduisent la conservation de la masse et de la quantité de mouvement le long des deux directions horizontales au moyen des équations de Reynolds (RANS), en utilisant l'approximation hydrostatique. Les textes courants sur l'hydraulique peuvent fournir de plus amples détails à ce sujet.

Les conditions limites du modèle ont été imposées à la surface libre en considérant des vents et une pression atmosphérique variant dans le temps et dans l'espace ; la contrainte de fond a été paramétrée en considérant un paramètre de rugosité représentatif du matériau présent sur le site; le modèle a également été forcé sur les bords externes en imposant des fluctuations de marée aux niveaux de la surface libre, ainsi qu'une série d'entrées/sorties latérales visant à décrire les mouvements induits par les grands courants marins et les perturbations liées aux vagues incidentes sur le domaine de calcul. La sélection des données météo-marines utilisées pour forcer le modèle est expliquée dans le chapitre suivant.

La résolution des équations de Reynolds nécessite la mise en œuvre d'une grille de calcul, sur les nœuds de laquelle sont discrétisés les domaines espace/temps, le long desquels évoluent les conditions initiales et les limites du domaine. Le maillage, illustrée à la Figure 1, montre l'épaississement progressif des nœuds de calcul à proximité de la zone d'intérêt (c'est-à-dire le port), en faisant varier la résolution spatiale entre 250 m au large, où les effets locaux ne sont pas pertinents, et 50 m (résolution maximale). Une valeur de profondeur du fond marin a ensuite été interpolée sur chaque nœud de calcul, à l'aide d'un ensemble de données provenant de la plateforme GEBCO (GEneral Bathymetric Chart of the Oceans ; <https://www.gebco.net/>) et de mesures de l'Institut Hydrographique de la Marine Italienne (<https://www.istitutoidrografico.it/>). Les Figures 2, 3 et 4 montrent la bathymétrie de la zone avec un degré de détail croissant.



# Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



SPLasH  
&Co

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

PRODOTTO T1.2.2

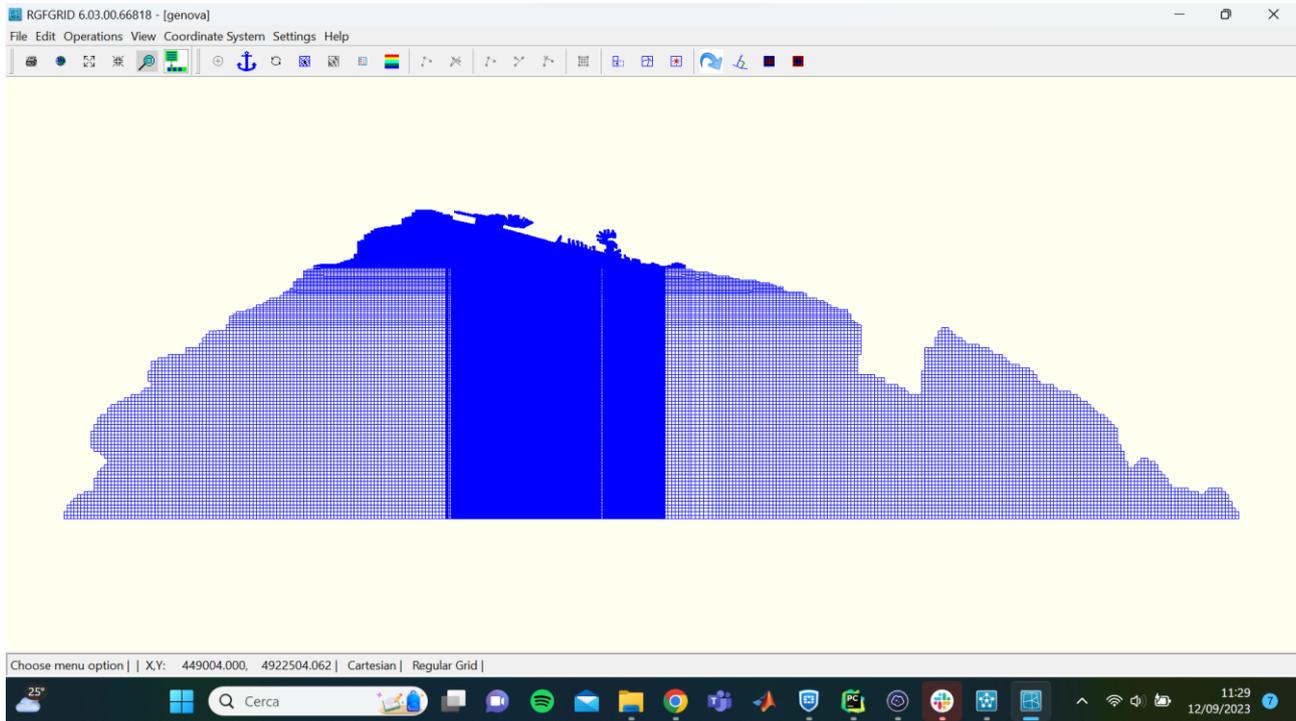


Figure 1 : Mesh de calcul dans le domaine considéré. La couleur des cellules indique l'épaisseur au niveau du port.

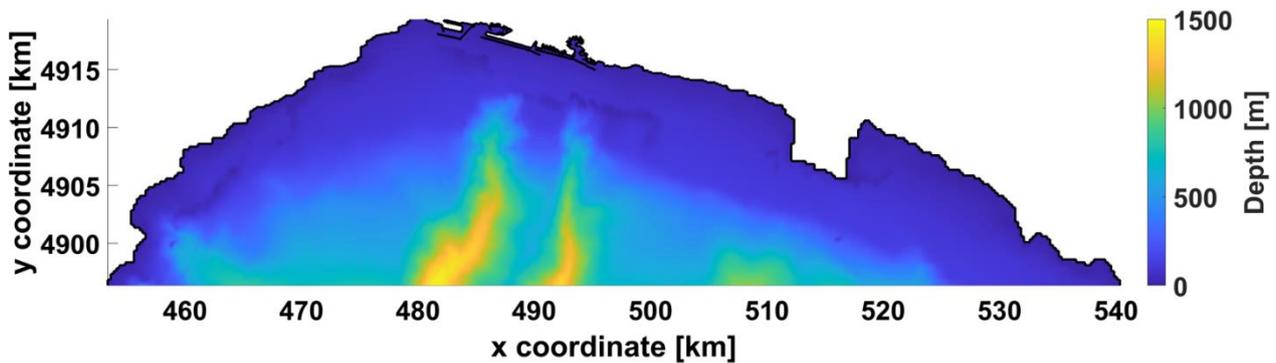


Figure 2 : Bathymétrie de la mer Tyrrhénienne supérieure.



Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



SPLasH  
&Co

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

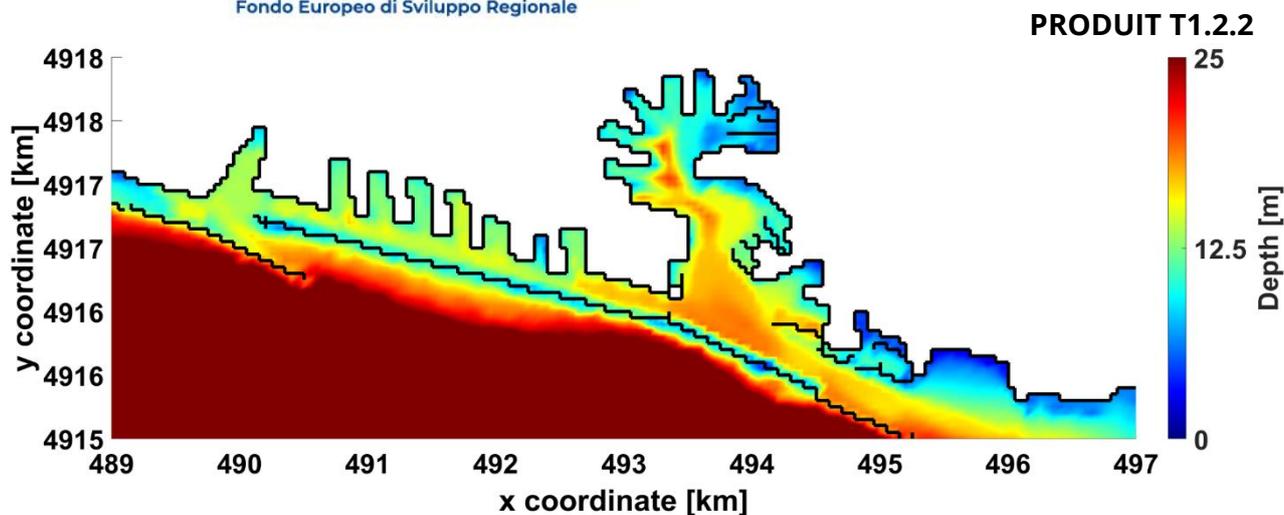


Figure 3 : Bathymétrie dans la zone du port de Gênes.

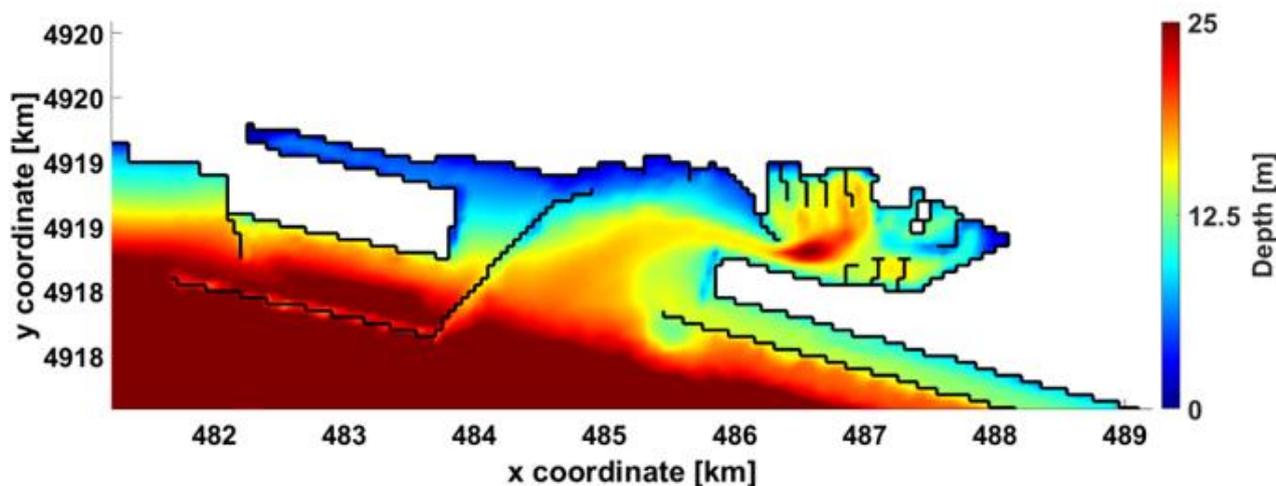


Figure 4 : Bathymétrie dans la zone du port à conteneurs (Genova Prà).

### 3 SÉLECTION DE SCÉNARIOS MÉTÉOROLOGIQUES ET MARITIMES REPRÉSENTATIFS

La réalisation de simulations numériques des champs de vitesse dans les eaux portuaires nécessite des ressources informatiques importantes, notamment en raison de la haute résolution spatiale du maillage de calcul dans la zone d'intérêt spécifique (voir Figure 1). Il est donc difficile de mettre en œuvre un nombre suffisant de simulations pour couvrir toute la variabilité des données disponibles. Il est alors nécessaire de choisir un petit nombre de scénarios météorologiques marins significatifs capables de décrire la variabilité statistique des conditions locales.



**Interreg**



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



**SPLasH  
&Co**

**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

## **PRODUIT T1.2.2**

L'identification de scénarios spécifiques a été réalisée au moyen de techniques d'exploration de données basées sur les divers algorithmes de regroupement proposés dans la littérature pertinente, en considérant les variables d'entrée suivantes :

- $H_s$  : hauteur significative de la vague [m]
- $T_p$  : période de pointe [m]
- $\Theta_p$  : direction du pic [°N]
- $U_w$  : vitesse du vent [m/s]

Les variables météorologiques et marines utilisées dans le projet proviennent des produits de simulations rétrospectives (*a posteriori*) du Département d'Ingénierie Civile, Chimique et Environnementale de l'Université de Gênes (DICCA ; <http://www3.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html>), développés à partir d'une réanalyse des conditions atmosphériques et contenant des données horaires sur les vagues, le vent et le champ barique définies sur une grille d'une résolution approximative de 10 km (à la fois en longitude et en latitude), couvrant l'ensemble du bassin méditerranéen.

Dans un second temps, les forçages de marée ont été extraits et reconstruits dans la zone à l'aide du logiciel de prédiction des marées TPXO.3 fourni par l'Université d'État de l'Oregon. L'amplitude de la marée a été calculée sur le même intervalle de temps et avec la même fréquence que les données météorologiques rétrospectives. Les données des grands courants marins, coïncidant avec les scénarios sélectionnés, ont été extraites à l'aide du référentiel Copernicus (<https://data.marine.copernicus.eu/products>).

La méthodologie de sélection des différents scénarios a suivi le schéma proposé dans une publication récente de DICCA ; les scénarios météorologiques-marins résultants, d'une durée d'une semaine, sont présentés dans les Figures 5, 6 et 7, tandis que la Figure 8 montre un diagramme des conditions limites imposées au modèle.



# Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



SPLASH  
& Co

## MARITIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

### PRODOTTO T1.2.2

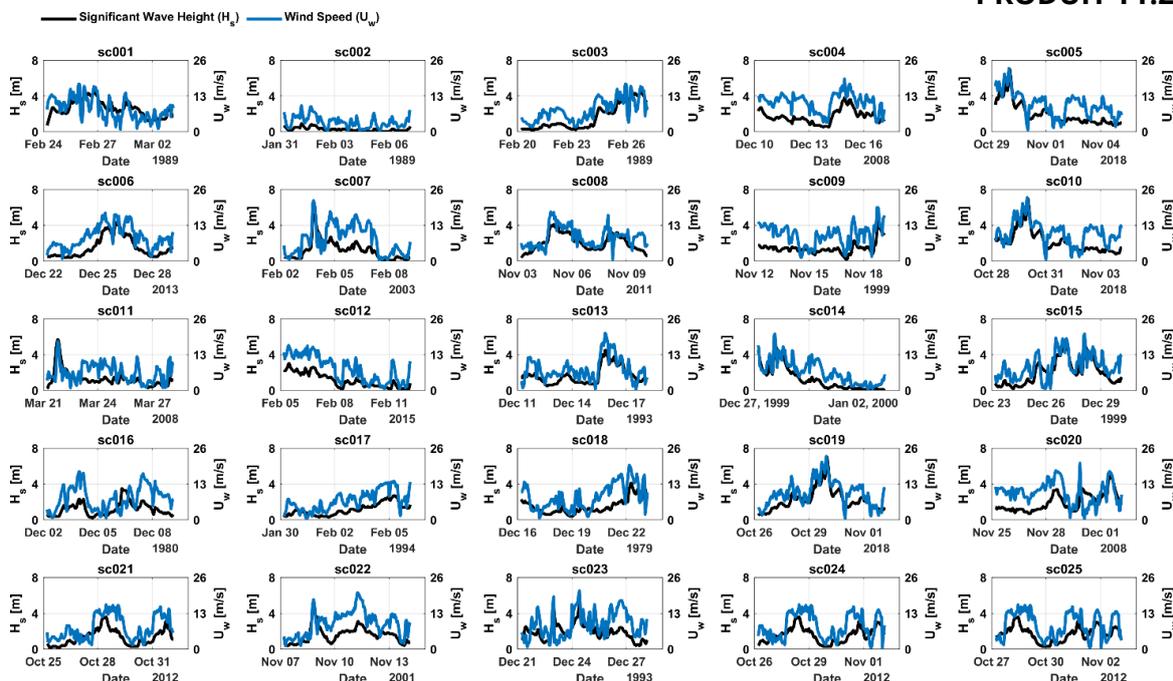


Figure 5 : Scénarios météorologiques et maritimes extraits dans la zone d'intérêt. Hauteur significative des vagues et vitesse du vent.

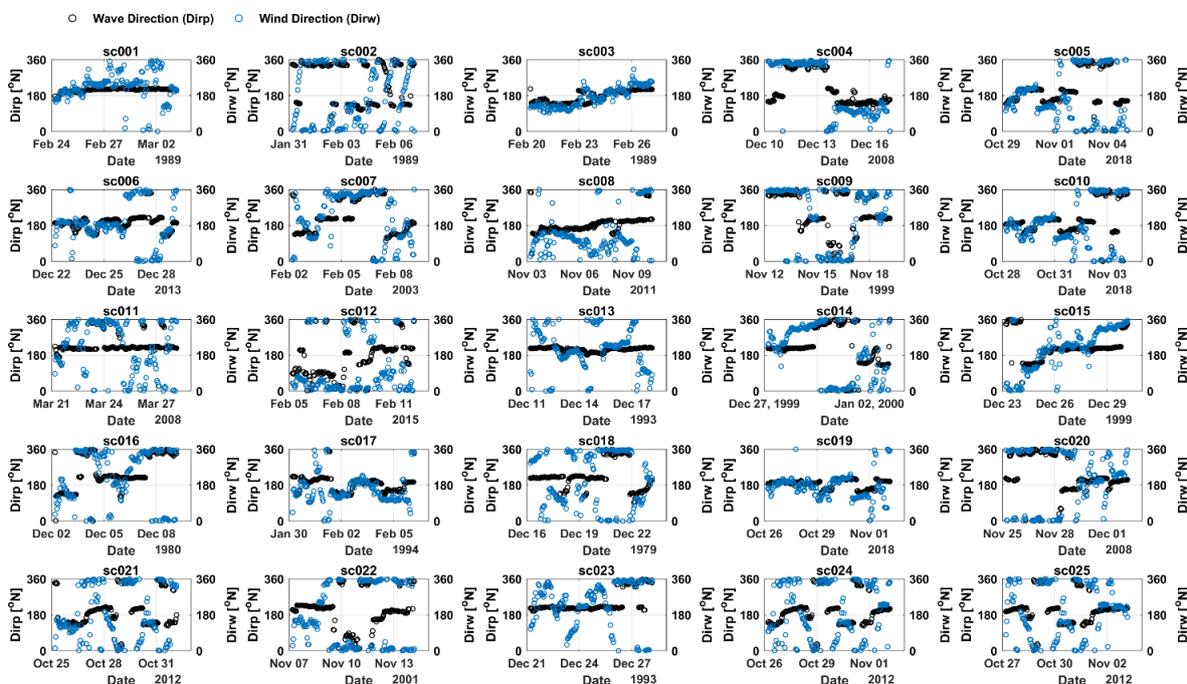


Figure 6 : Scénarios météorologiques et maritimes extraits dans la zone d'intérêt. Directions des vagues et du vent (exprimées en convention nautique).



# Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



SPLasH  
& Co

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

### PRODOTTO T1.2.2

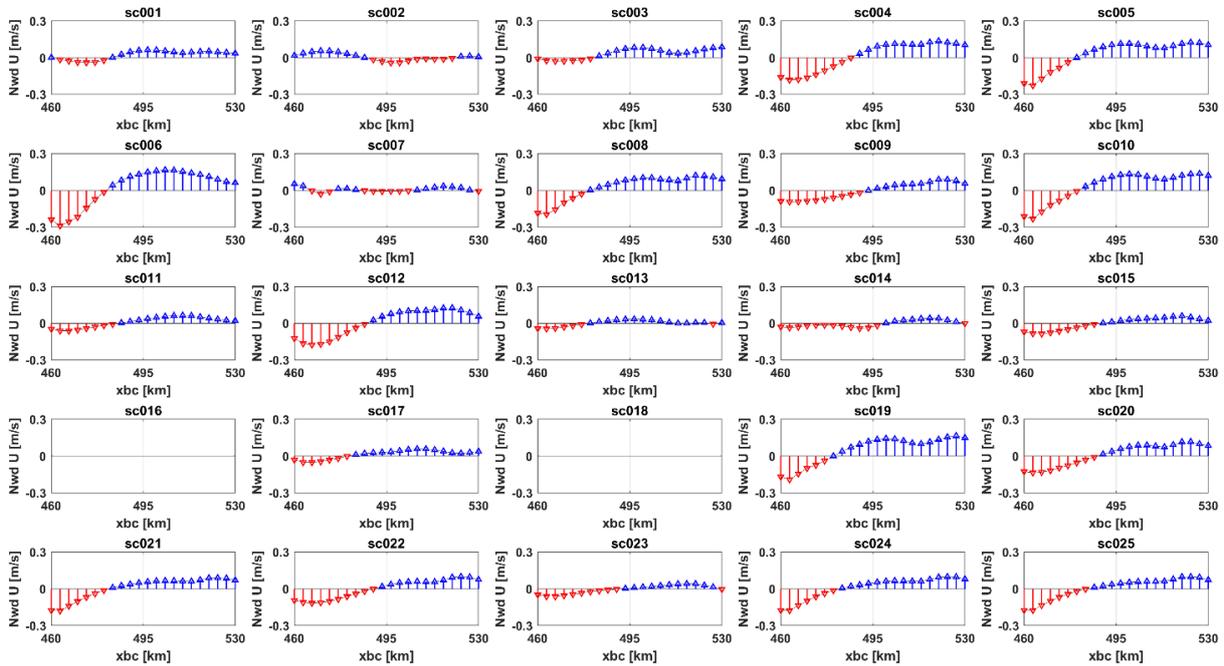


Figure 7 : Scénarios météorologiques et maritimes extraits dans la zone d'intérêt. Courants à grande échelle.

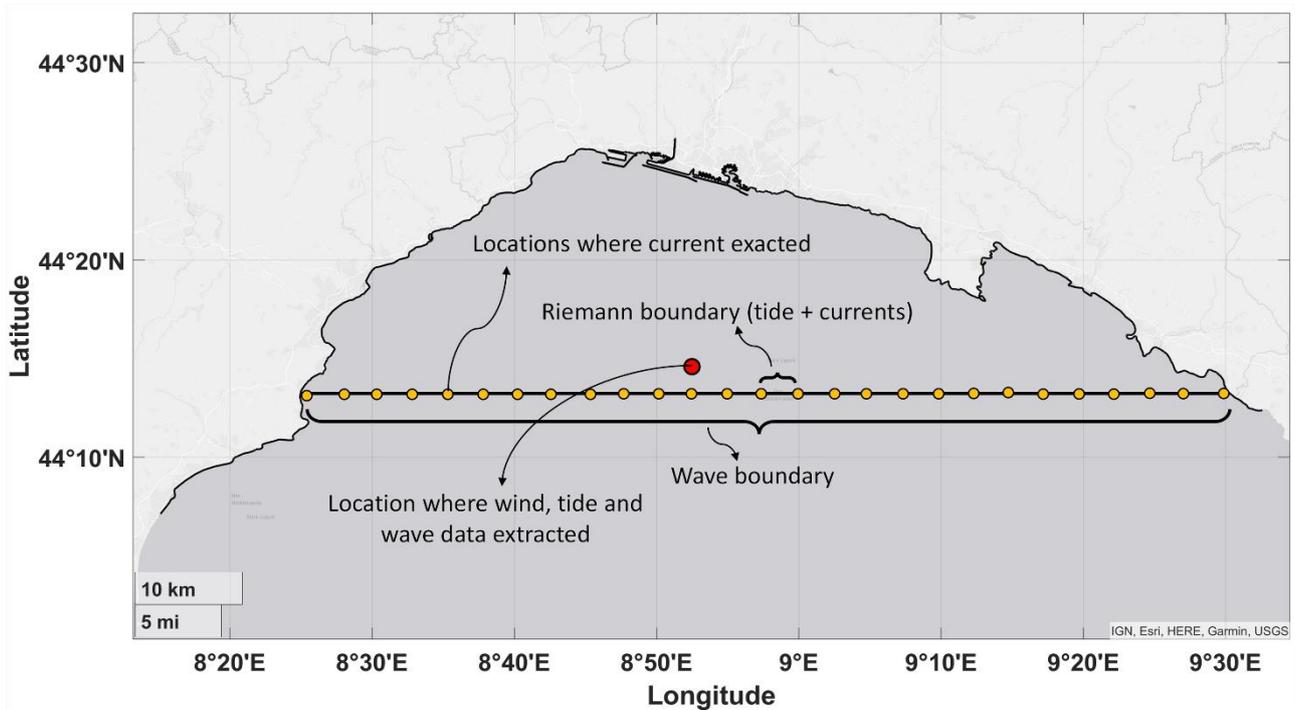


Figure 8 : Définition des conditions limites du modèle numérique pour le calcul de l'hydrodynamique.



**Interreg**



**MARITTIMO-IT FR-MARITIME**

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



## PRODUIT T1.2.2

### 4 CALCUL DE LA DISPERSION NON INERTIELLE DES PARTICULES

Les scénarios météorologiques utilisés pour décrire la climatologie locale dans la zone portuaire de Gênes ont ensuite été couplés à Delft3D afin de calculer les champs de courant résultants qui influencent directement les trajectoires des polluants considérés. A partir des courants calculés, il a été possible d'étudier la dispersion des particules au moyen d'un modèle dit « de suivi des particules » (Particle Tracking Model) qui, en utilisant la position de libération des particules et un champ d'écoulement, renvoie les trajectoires des particules au cours de la simulation. Cette étude a utilisé OceanParcels, un package de fonctions Python conçu pour développer des simulations de dispersion personnalisées (<https://oceanparcels.org/>).

Pour chaque scénario météo-marin sélectionné, 10 000 particules virtuelles conçues pour représenter des polluants potentiels ont été libérées dans le port, espacées d'environ 50 m de manière à les répartir entre plusieurs cellules du maillage de calcul (voir chapitre 4). Toutefois, dans les graphiques ci-dessous, seules les trajectoires de 250 particules sont représentées afin d'en faciliter la lecture et sans en altérer le sens : en effet, les particules se déplacent en groupe, propulsées par les mêmes structures de transport ; la représentation d'une seule trajectoire suffit donc à mettre en évidence une trajectoire préférentielle de déplacement.

Les figures suivantes résument les différentes étapes de calcul pour quelques scénarios météorologiques-marins représentatifs de la zone considérée :

- Le scénario 2 est associé à des vents de tramontane, comme le montrent les diagrammes polaires de vent et de vague (Figure 9). La direction préférentielle est Nord-Sud, ce qui se répercute sur les courants de surface induits (Figure 10), et par conséquent sur les directions préférentielles de transport des particules (Figure 11) ;
- Le scénario 4, quant à lui, est associé à des directions plus variables, avec un transitoire initial des vagues du sirocco (se propageant du SE au NO; Figure 12), suivis par des vents et des vagues du mistral (ondes du NO au SE), qui se reflètent inévitablement sur des champs d'écoulement et des trajectoires plus dispersés (Figure 13 et Figure 14), avec une dispersion prédominante dans la direction Est;
- Le scénario numéro 5 est dominé par le courant cyclonique à grande échelle qui circule dans le sens inverse des aiguilles d'une montre le long de la côte ligure, rendant négligeable la contribution du vent local. En raison de la direction du courant, les particules ont tendance à quitter le port par l'entrée ouest (Figure 15, Figure 16, Figure 17).
- Enfin, dans le scénario numéro 19, représentatif d'une tempête du Libeccio (direction dominante SO-NE ; Figure 18), les contributions des différents forçages se traduisent par une direction dominante du déplacement vers la côte : un petit nombre de particules parvient à quitter le port, restant toutefois confinées dans la zone côtière pendant toute la durée de la simulation (Figure 19 et Figure 20).

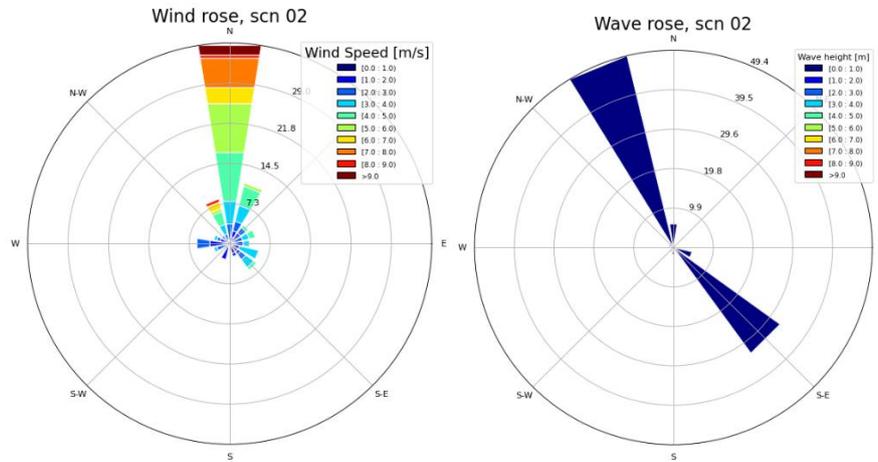


Figure 9. Panneau de gauche : diagramme polaire des vents; panneau de droite: diagramme polaire des vagues; graphiques relatifs au scénario météo-marin numéro 2.

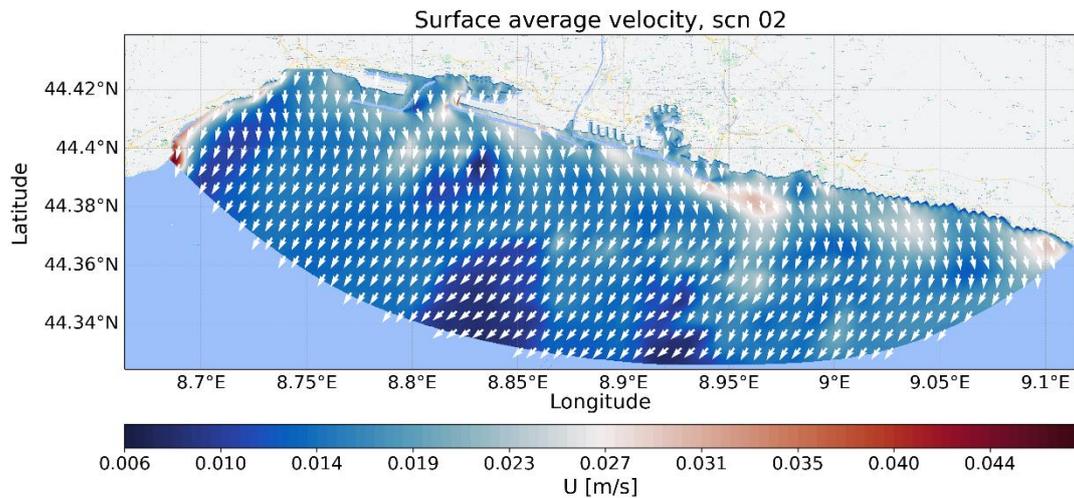


Figure 10. Champ de vitesse de surface moyenné sur la semaine associée au scénario météo-marin numéro 2.



# Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA



SPLasH  
&Co

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

### PRODOTTO T1.2.2

Particules trajectoires, scn 02

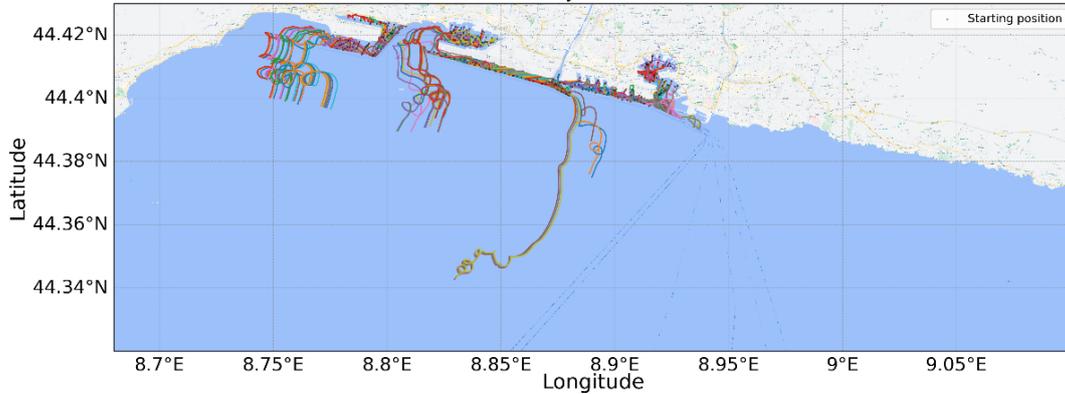


Figure 11. Trajectoires des particules émises en différents points du port.

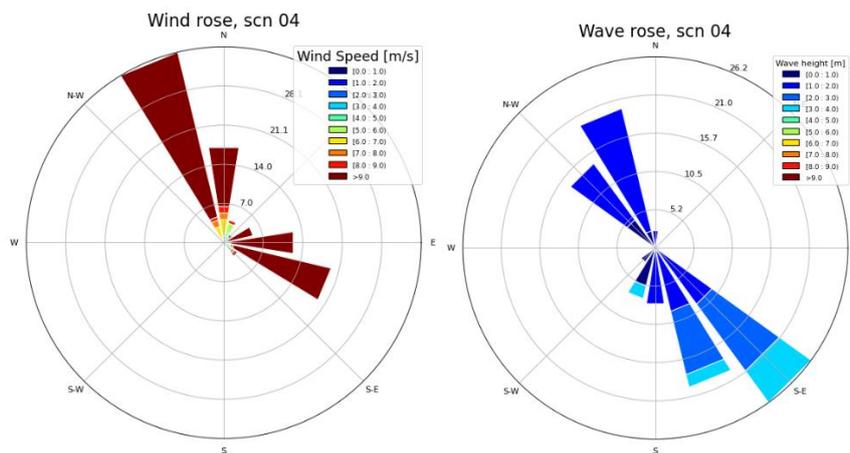


Figure 12. Même représentation que dans la Figure 9, mais pour le scénario météo-marin 4.

Surface average velocity, scn 04

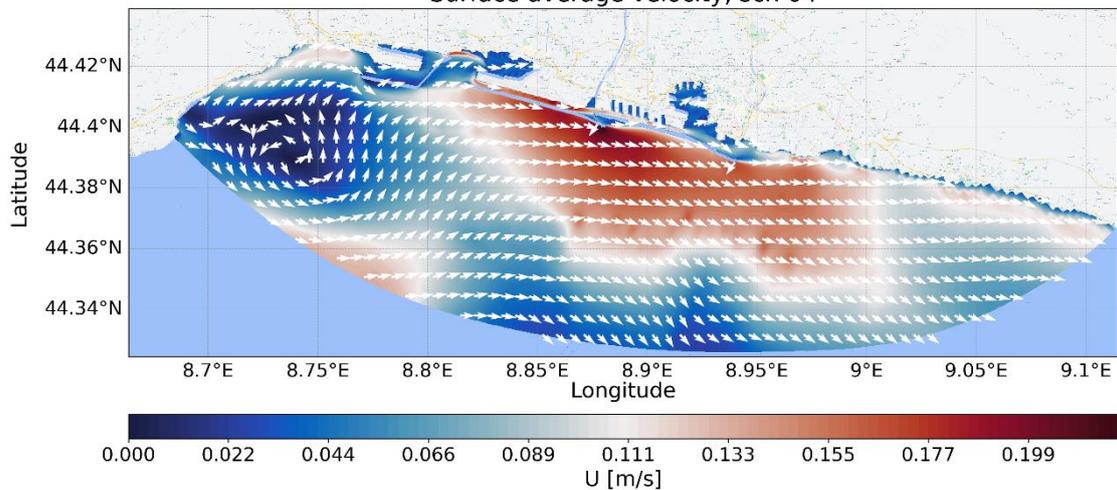


Figure 13. Même représentation que dans la Figure 10, mais pour le scénario météo-marin 4.



Particules trajectoires, scn 04

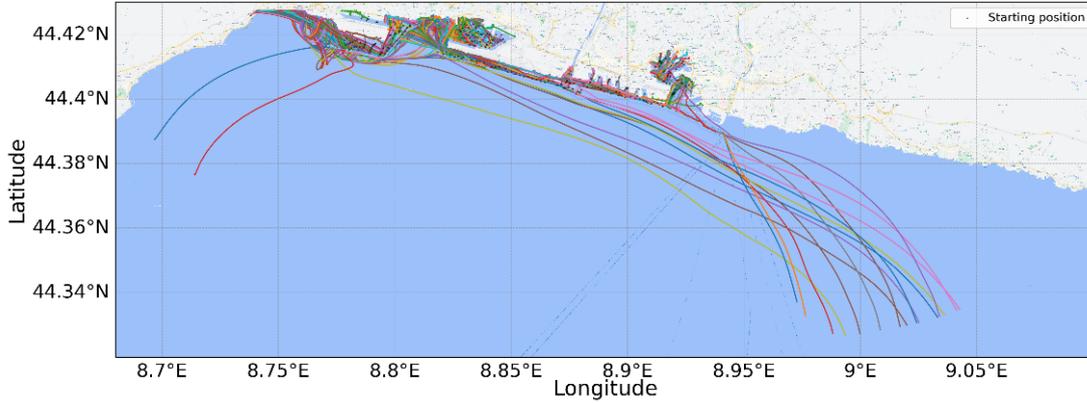


Figure 14. Même représentation que dans la Figure 11, mais pour le scénario météo-marin 4.

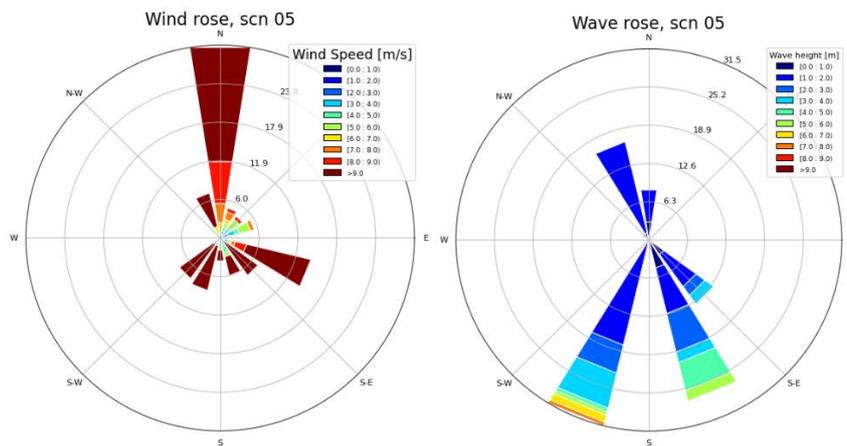


Figure 15. Même représentation que dans la Figure 9, mais pour le scénario météo-marin 5.

Surface average velocity, scn 05

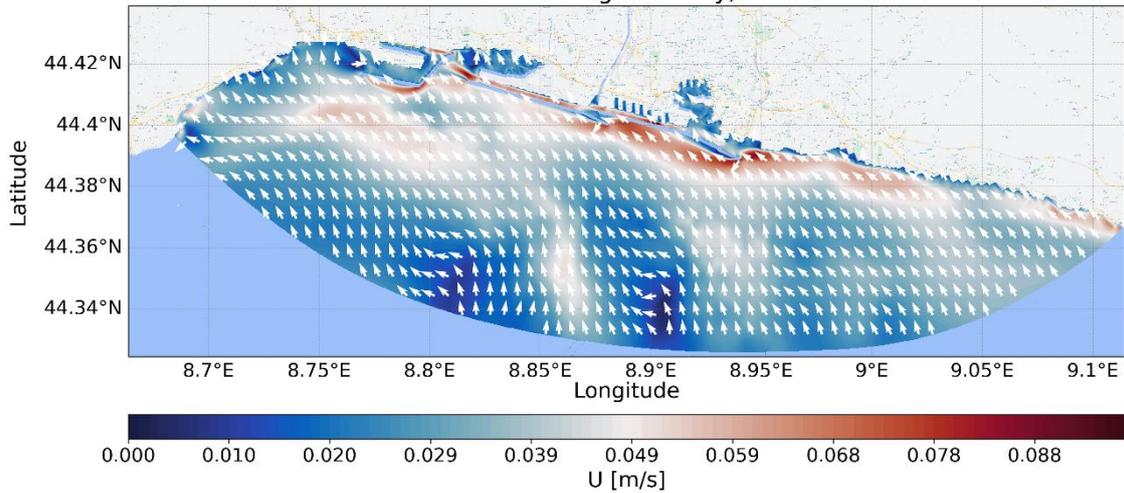


Figure 16. Même représentation que dans la Figure 10, mais pour le scénario météo-marin 5.



Particules trajectoires, scn 05

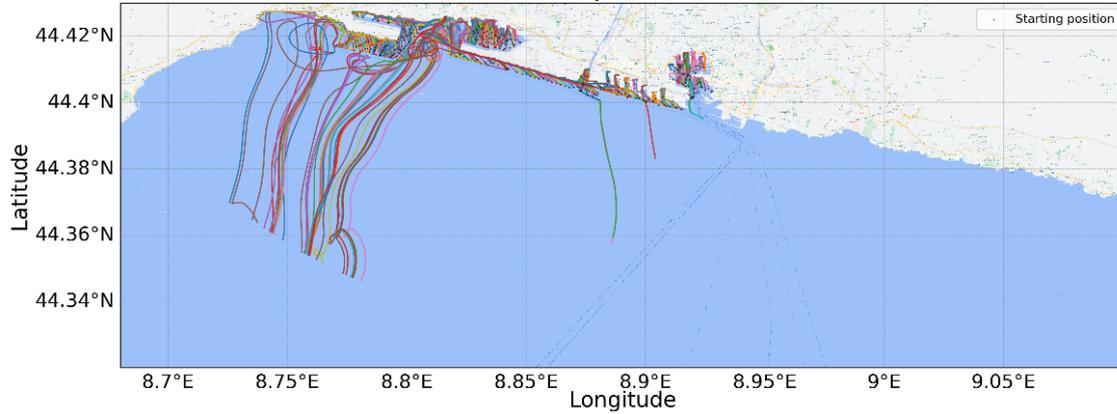


Figure 17. Même représentation que dans la Figure 11, mais pour le scénario météo-marin 5.

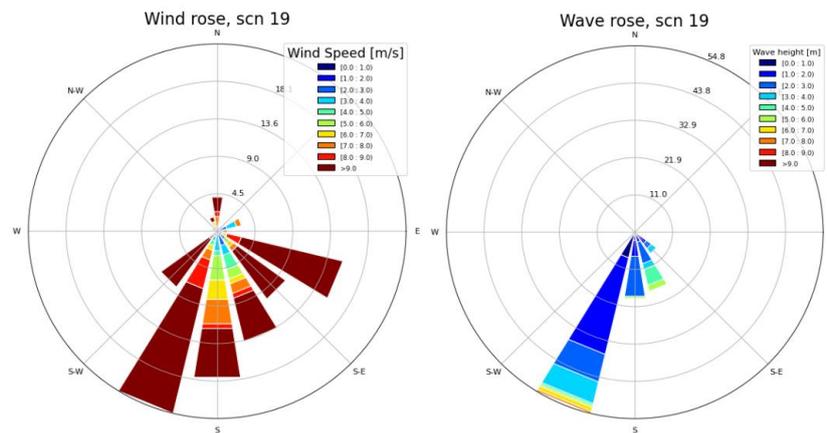


Figure 18. Même représentation que dans la Figure 9, mais pour le scénario météorologique 19.

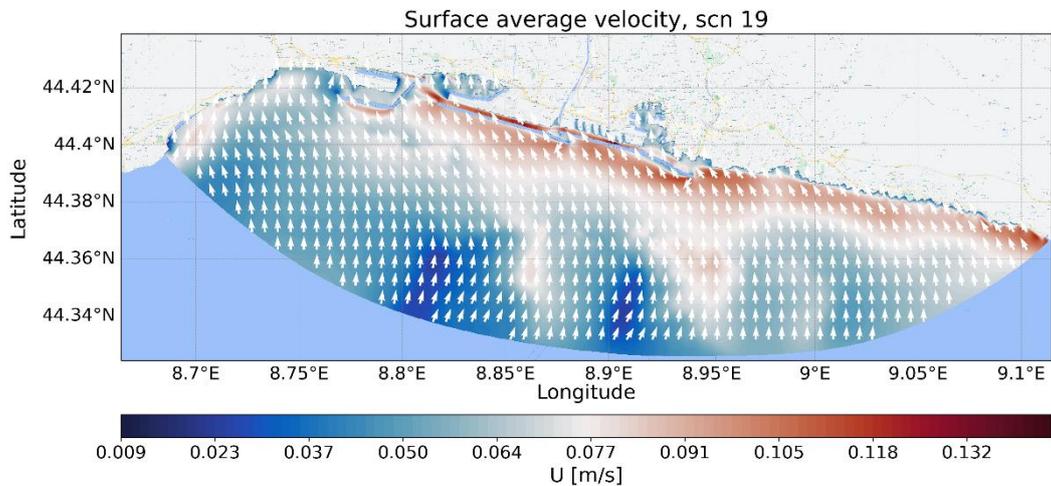


Figure 19. Même représentation que dans la Figure 10, mais pour le scénario météo-marin 19.



# Interreg



UNION EUROPÉENNE  
UNIONE EUROPEA

## MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional  
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale



SPLasH  
&Co

### PRODUIT T1.2.2

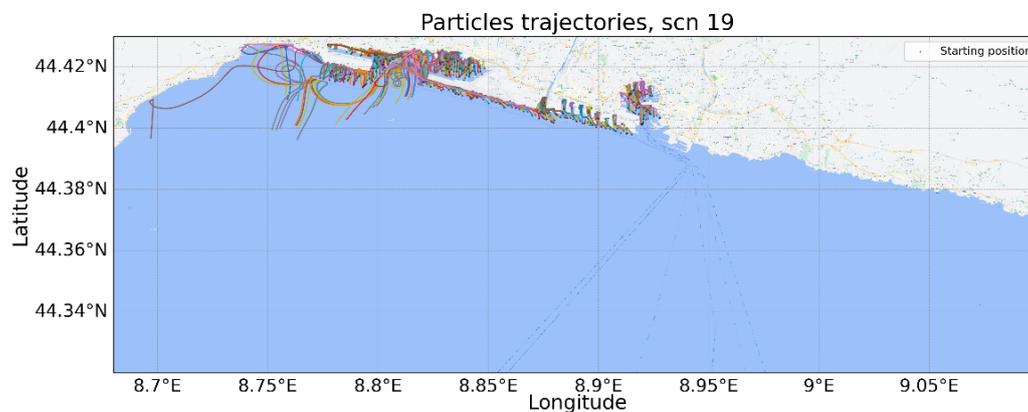


Figure 1. Même représentation que dans la Figure 11, mais pour le scénario météo-marin 19.

D'une manière générale, on constate qu'au bout d'une semaine, quelles que soient les conditions préférentielles de transport, la plupart des traceurs analysés restent dans les eaux du port, principalement en raison de la présence du brise-lames qui protège le port.