

Projet

SINAPSI

asSistance à la Navigation pour l'Accès aux Ports en Sécurité



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI GENOVA



UNIVERSITÉ
DE TOULON



**OUTPUT T2.1: MODÈLES NUMÉRIQUES DES CONDITIONS
MÉTÉOROLOGIQUES ET MARITIMES DANS LES PORTS**

Partenaire responsable: UNIGE

Partenaires contributeurs: CNR-ISMAR, UTLN, ADSP-MTS, LaMMA, ERI, CCI VAR



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

INDEX

<i>Description du livrable</i>	1
1. INTRODUCTION	1
2. FORCES ET FAIBLESSES DES MODÈLES NUMÉRIQUES	1
3. MODÈLES COURAMMENT UTILISÉS	2
3.1 Solveurs Navier-Sokes (CFD)	2
3.2 Modèles hydrostatiques	3
3.3 Modèles potentiels	3
3.4 Shallow Water Equations	3
3.5 Boussinesq	4
3.6 Modèles spectraux	4
4. MODÈLES OPEN SOURCE UTILISÉS DANS LE DOMAINE CÔTIER	7
4.1 ROMS	7
4.2 DELFT3D	7
4.3 Open-Telemac	7
4.4 NEMO	8
4.5 SHYFEM	8
4.6 CMS	8
4.7 Conclusions	8
5. APPLICABILITÉ DE DELFT3D POUR LE FORECAST EN MILIEU PORTUAIRE	9
6. APPLICABILITE DE NEMO ET CMS DANS LA ZONE PORTUAIRE DE TOULON	14
Bibliografia	16



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

Description du livrable

Le projet SINAPSI a prévu une étude visant à évaluer l'applicabilité de différents modèles numériques pour la description de l'hydrodynamique dans les bassins portuaires, ce qui a permis leur définition commune par les Partenaires.

1. INTRODUCTION

L'objectif de la modélisation est de prédire le comportement d'un système physique soumis à un changement par rapport à ses conditions initiales. L'objectif est d'examiner un système soumis à des actions extérieures afin d'évaluer l'évolution du système lui-même.

En raison de leur complexité, les études liées à la mécanique des fluides environnementaux ont traditionnellement été menées à l'aide de modèles physiques. Les modèles physiques sont généralement des modèles qui reproduisent à une échelle plus petite, en utilisant les lois de la similitude, le système réel à analyser.

Aujourd'hui, cependant, les modèles numériques gagnent du terrain, principalement en raison de leur puissance de calcul croissante et de leur faible coût. Les modèles numériques sont désormais capables de décrire avec précision les écoulements turbulents dans les domaines environnementaux et industriels. Cependant, l'application de modèles numériques cache de nombreux pièges et le résultat final peut différer considérablement de la réalité si l'on n'est pas conscient des limites et des incertitudes liées, par exemple, au choix des paramètres propres à chaque modèle.

L'analyse des forces et des faiblesses des modèles numériques est un outil précieux pour acquérir une connaissance adéquate de l'outil considéré.

2. FORCES ET FAIBLESSES DES MODÈLES NUMÉRIQUES

Aujourd'hui, la plupart des modèles et des codes numériques ont été validés pour les cas les plus courants de mouvement à surface libre. Il existe de nombreuses preuves que les modèles numériques peuvent représenter de manière adéquate de nombreux processus physiques dans le domaine de la mécanique des fluides environnementaux.

Les avantages de la modélisation numérique sont son faible coût par rapport à la modélisation physique et le nombre de configurations et d'options différentes possibles qui peuvent être préparées sans coûts supplémentaires. En outre, il est possible de répéter la simulation même longtemps après la première analyse.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

La modélisation numérique peut également atténuer, bien que partiellement, deux des principales faiblesses de la modélisation physique: la mesure des données expérimentales et les effets d'échelle.

Dans les modèles numériques, des données de toutes sortes, telles que la vitesse, la pression, l'élévation de la surface, l'énergie cinétique turbulente, etc., peuvent être extraites en tout point et à tout moment de la simulation et, bien entendu, les sondes "virtuelles" n'interfèrent pas avec la résolution du problème. En ce qui concerne les effets d'échelle, les modèles numériques peuvent être utilisés pour faire fonctionner des modèles en grandeur nature.

Inversement, il existe également de fortes limitations à l'utilisation des modèles, car certains d'entre eux sont basés sur la paramétrisation de processus physiques. En général, ces paramétrages ont un champ d'application étroit et, si le modèle est utilisé en dehors de ce champ, les résultats peuvent être irréalistes. En même temps, le résultat final est soumis aux hypothèses formulées au départ. Par exemple, et de manière non exhaustive, les modèles de turbulence, les conditions aux limites et les conditions initiales influencent considérablement les résultats.

La précision d'un modèle numérique dépend également de la résolution du maillage de calcul : plus il est dense, plus les résultats tendent à être précis, avec l'inconvénient de nécessiter une plus grande puissance de calcul. Un compromis doit donc être trouvé entre la précision du résultat et la charge de calcul.

L'utilisation de codes open-source librement distribués signifie que de plus en plus de personnes peuvent travailler et développer leurs propres codes, améliorer les fonctions existantes et en intégrer de nouvelles.

Des détails sur les modèles mathématiques peuvent être trouvés dans le produit T2.1.1 "Définition des modèles numériques pour la dynamique marine dans les ports".

3. MODÈLES COURAMMENT UTILISÉS

3.1 Solveurs Navier-Sokes (CFD)

Le terme CFD signifie Computational Fluid Dynamics (mécanique des fluides numérique) et consiste en une approche numérique pour examiner le mouvement des fluides et les phénomènes physico-chimiques associés. Par conséquent, le terme CFD pourrait être utilisé pour décrire tout modèle numérique utilisé pour modéliser les écoulements turbulents et non turbulents. Toutefois, dans la pratique, le terme désigne principalement les codes capables de résoudre les équations complètes de Navier-Stokes dans les trois



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

dimensions. Par conséquent, la CFD fait référence à des simulations informatiques d'une grande complexité qui peuvent traiter différents phénomènes : ses applications vont de l'aérodynamique aux turbomachines, du génie côtier à la biochimie.

La CFD est une technique de pointe pour les applications industrielles et de recherche ; cependant, son coût de calcul élevé empêche souvent son utilisation. Historiquement, la CFD a été utilisée pour la première fois dans les années 1960 dans l'industrie aérospatiale. Cependant, le coût élevé du calcul des codes CFD a déterminé leur utilisation principalement dans les environnements de recherche jusqu'aux années 1990, lorsque les ressources informatiques ont commencé à devenir abordables. Depuis, de nombreux codes CFD ont été développés en utilisant un large éventail d'outils de prétraitement, de résolution et de post-traitement.

3.2 Modèles hydrostatiques

La plupart des modèles numériques utilisés pour la circulation océanique et les études côtières résolvent les équations Navier-Stokes moyennées, appelées *Reynolds Averaged Navier-Stokes (RANS) equations*. En effet, pour ces échelles, les équations complètes de Navier-Stokes sont difficiles à traiter sur le plan informatique. Au lieu de cela, une version simplifiée de RANS, appelée hydrostatique, est utilisée. Cela signifie que l'équation de la quantité de mouvement verticale est réduite à une approximation de l'équilibre hydrostatique. La pression est calculée en utilisant l'approximation hydrostatique tandis que la composante verticale de la vitesse est calculée en utilisant l'équation de continuité. En revanche, si les équations complètes de Navier-Stokes étaient prises en compte, toutes les composantes de la vitesse seraient calculées directement.

3.3 Modèles potentiels

Les modèles potentiels supposent que le mouvement est irrotationnel et à des nombres de Reynolds élevés. Par conséquent, le mouvement basé sur le potentiel est souvent utilisé pour analyser les flux externes sur les surfaces solides. Ce type de modèle suppose l'existence d'une fonction potentielle de vitesse.

3.4 Shallow Water Equations

En eau peu profonde, le mouvement est essentiellement horizontal et les accélérations verticales sont négligeables. Le mouvement peut donc être exprimé dans ce cas par ce qu'on appelle les *Shallow Water Equations*.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

3.5 Boussinesq

La propagation des vagues dans la zone des eaux peu profondes à profondes peut être décrite par le modèle de Boussinesq. La distribution de la vitesse verticale n'est pas calculée à partir des équations d'équilibre non linéaires. Au lieu de cela, la composante horizontale de la vitesse est supposée être constante dans la colonne d'eau et la composante verticale varie presque linéairement.

Essentiellement, les équations qui sont résolues sont les équations des eaux peu profondes avec des termes qui prennent en compte les accélérations verticales.

3.6 Modèles spectraux

Les modèles spectraux peuvent être utilisés pour décrire les vagues de mer.

Au cours des deux dernières décennies, de nombreux modèles, dits de troisième génération, ont été développés, tels que WAM, WAVEWATCH III, TOMAWAC et SWAN. Ces modèles résolvent l'équation appelée *spectral action balance*, sans aucune restriction a priori sur le spectre, pour l'évolution des vagues.

Le tableau 1 montre les codes open-source pour la modélisation des vagues.

Le tableau 2 récapitule un certain nombre de codes de calcul libres et propriétaires avec leurs équations directrices.



MODELLI NUMERICI OPEN-SOURCE			
TIPO	NOME	DIMENSIONI	NUMERICA
CFD	OLAFLOW	3D	FV
	OPENFOAM	3D	FV
	REEFF3D:CFD	3D	FD
3D EQUATION MODELS	FVCOM	3D	FV
	NHWAVE	3D	FV/FD
	REEF3D - NSEWAVE(NH)	3D	FD
	SCHIMS	3D	FE/FV
	TSUNAMI3D	3D	FD
SPECTRAL WIND WAVE MODELS	STWAVE	2D	FD
	SWAN	1D/2D	FD
	TELEMAC/TOMAWAC	2D	FV
	WAVEWATCH III	2D	FD
BOUSSINESQ	CELERIS	2D	FV/FD
	COULWAVE	1D/2D	FV/FD
	FUNWAVE-TVD	1D/2D	FV/FD
NON LINEAR SHALLOW WATER	CLIFFS	1D/2D	FV
	COMCOT	2D	FV
	GeoClaw	2D	FD
	NAMI-DANCE	2D	FV
	NEOWAVE	2D	FV
	REEF3D - SFLOW	2D	FV
	SUSTANS	2D	FE
	SWASH	1D/2D	FV/FD
	TELEMAC	2D	FE/FD
XBEACH	2D	FV	
OCEAN CIRCULATION STORM SURGE	ADCIRC	2D/3D	FE
	DELFT3D	2D/3D	FD
	MOHID	2D/3D	FV
	ROMS	2D/3D	FV/FD
	SCHISM	1D/2D/3D	FE/FV
	SELFE	2D/3D	FE
	SHYFEM	2D/3D	FE
	TELEMAC	2D/3D	FE/FV
	UnTRIM	1D/2D/3D	FV/FD

Tableau 1 - Récapitulatif des principaux modèles numériques existants



	Navier-Stokes (CFD)	Hydrostatic	Potential flow	Shallow Water Equations	Boussinesq	Spectral
OpenFOAM	>			>		
ANSYS CFX	>					
DualSPHysics	>			>		
SHFEM						
TELEMAC-MASCARET		>				
FUNWAVE					>	
Delft3D		>		>		>
ANSYS AQWA			>			
QALE-FEM			>			
OreaFlex			>			
Pom		>				
COHERENS		>				
WAM						>
WAVEWATCH III						>
SWAN						>
MIKE 21		>				>
WAMIT			>			

Tableau 2 - Récapitulatif de l'applicabilité de quelques modèles numériques



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

4. MODÈLES OPEN SOURCE UTILISÉS DANS LE DOMAINE CÔTIER

4.1 ROMS

ROMS (*Regional Ocean Modeling System*) est un modèle numérique open source largement utilisé par la communauté océanographique internationale.

4.2 DELFT3D

Delft3D est une suite de codes de calcul développée par Deltares, anciennement connu sous le nom de Delft Hydraulics, pour la modélisation des zones côtières, fluviales et estuariennes. Il couvre, entre autres, la modélisation numérique des courants, du transport des sédiments, des vagues, de la qualité de l'eau et du transport solide. Delft3D se compose de plusieurs modules qui peuvent être exécutés indépendamment ou être couplés et interagir les uns avec les autres, en échangeant les informations appropriées. Delft3D-FLOW est l'un de ces modules. Il s'agit d'un code qui modélise l'hydrodynamique et le transport, en tenant compte d'un large éventail de facteurs de forçage, tels que les événements météorologiques, les marées, les rejets anthropiques, etc..

4.3 Open-Telemac

Le système TELEMAC-MASCARET est un outil de modélisation intégré utilisé dans le domaine des écoulements à surface libre.

Les différents modules de simulation utilisent des algorithmes basés sur la méthode des éléments finis. L'espace est discrétisé sous la forme d'une grille non structurée d'éléments triangulaires, ce qui permet de l'affiner notamment dans les zones d'intérêt spécifique. Cela évite l'utilisation systématique de modèles intégrés, comme c'est le cas avec la méthode des différences finies. Le système TELEMAC-MASCARET est composé des modules suivants pour le traitement des phénomènes hydrodynamiques :

- ARTEMIS : agitation des vagues dans les ports ;
- MASCARET : flux unidimensionnels ;
- TELEMAC-2D : écoulements bidimensionnels - équations de Saint-Venant (incluant le transport d'un traceur dilué) ;
- TELEMAC-3D : écoulements tridimensionnels - équations de Navier-Stokes (y compris le transport de traceurs actifs ou passifs) ;
- TOMAWAC : propagation des ondes dans la zone côtière ;

et des modules suivants pour les phénomènes de transport et/ou de dispersion :



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

- SISYPHE : Transport solide 2D ;
- SEDI-3D : transport de sédiments en suspension en 3D ;
- DREDGESIM : simulation des opérations de dragage.

4.4 NEMO

NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean) est un modèle numérique open-source développé en France et largement utilisé par la communauté océanographique internationale.

4.5 SHYFEM

SHYFEM (Shallow Water Hydrodynamic Finite Element Model) est un modèle numérique open-source développé par ISMAR-CNR est utilisé par la communauté scientifique internationale notamment pour résoudre les équations de la circulation de l'eau et la propagation des vagues dans les environnements côtiers tels que les lagunes, les estuaires et les zones portuaires.

4.6 CMS

CMS (Connectivity Modeling System) est un modèle lagrangien stochastique multi-échelle développé à la Rosenstiel School of Marine & Atmospheric Science et utilisé par la communauté scientifique internationale pour étudier les phénomènes lagrangiens tels que les estimations de dispersion, la propagation des polluants et les migrations complexes. CMS est une boîte à outils open source écrite en Fortran pour le suivi des particules dans la mer et l'océan. L'outil est intrinsèquement multi-échelle puisqu'il permet un mouvement continu des particules entre des grilles de différentes résolutions. Il utilise le schéma numérique RungeKutta4 et est conçu pour être modulaire, ce qui signifie qu'il est relativement facile d'ajouter des "comportements" supplémentaires aux particules : en fait, les modules supplémentaires dans le code comprennent la diffusion par "random-walk", la mortalité et le mélange mixte.

4.7 Conclusions

En comparant les résultats obtenus à travers les modèles numériques TELEMAC-3D, ROMS et DELFT3D, on peut déduire que :



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

- TELEMAR-3D ne convient pas car il n'est pas en mesure de représenter un mouvement uniforme dans un canal,
- Les résultats obtenus avec ROMS et DELFT3D sont capables de modéliser un mouvement uniforme avec des erreurs particulières aux premiers points de calcul à partir du fond,
- L'utilisation de DELFT3D est préférable car il est plus facile à utiliser et plus complet tout en tenant compte de tous les modules de transport de polluants disponibles.

5. APPLICABILITÉ DE DELFT3D POUR LE FORECAST EN MILIEU PORTUAIRE

Le code de calcul Delft3D peut être utilisé de manière appropriée pour décrire en détail des zones peu étendues. Un cas courant de cette application concerne la modélisation associée aux ports. En particulier, il est possible de construire un *forecast* grâce auquel les courants et les niveaux d'eau peuvent être prédits sur la base des données météorologiques.

En particulier, un *nesting* a été développé pour les ports de Gênes et La Spezia afin de fournir ces données sur une base quotidienne et pour les deux jours suivants.

Le *nesting* est une procédure qui consiste à créer un modèle à grande échelle, c'est-à-dire pouvant s'étendre vers le large sur plusieurs kilomètres, et ensuite, un modèle détaillé de la zone portuaire examinée pouvant incorporer sur le contour extérieur les courants et les niveaux générés par le modèle à grande échelle.

En particulier, les prévisions pour les ports mentionnés sont dérivées de l'utilisation combinée de Delft3D et du code de calcul Weather Research & Forecasting Model (WRF).

Le modèle utilisé pour la simulation des conditions atmosphériques et, en particulier, des champs de vent nécessaires à l'initialisation des prévisions des conditions portuaires est le Weather Research and Forecasting (WRF), un modèle numérique de prévision créé, dans un double but de recherche et de prévision, par la collaboration entre le National Center for Atmospheric Research (NCAR), la division Mesoscale and Microscale Meteorology (MMM), le National Centre for Environmental Prediction (NCEP) de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) et d'autres organismes et universités américains. Le modèle WRF intègre les équations compressibles non hydrostatiques de Navier-Stokes (Ooyama, 1990), formulées en utilisant comme coordonnée verticale les coordonnées dites terrain-following, dans le but d'obtenir une densification des niveaux dans les couches atmosphériques plus proches du sol, et en particulier en correspondance avec l'orographie, c'est-à-dire dans les zones où la dynamique est plus difficile à représenter en raison du grand nombre d'interactions qui s'y produisent.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

Le modèle WRF prévoit une série de paramétrisations, tant pour les phénomènes étroitement liés à la dynamique des fluides mais qui ne sont pas résolus à l'échelle à laquelle nous travaillons, tels que la convection pour les grilles d'un pas supérieur à dix kilomètres ou la diffusion turbulente, que pour les phénomènes physiques qui ne sont pas directement liés à la dynamique des fluides mais qui ont une influence significative sur l'évolution des événements météorologiques, tels que les effets de l'échange de rayonnement entre le soleil, l'atmosphère, les nuages et la surface de la terre (Skamarock et al, 2008), la microphysique des nuages, les flux verticaux à une échelle non résolue dus au transport turbulent (Skamarock et al., 2008), etc.

Plus précisément, la configuration du modèle et le choix des schémas de paramétrisation pour les phénomènes à une échelle non résolue étaient similaires à ceux adoptés dans les travaux récents de Bove et al. (2014), Cassola et al. (2015) et Cassola et al. (2016) où le modèle a été soumis à validation.

En particulier, les principaux schémas de paramétrisation adoptés étaient le schéma RRTM (Rapid Radiation Transfer Model) pour la *long wave radiation* (Mlawer et al, 1997), le schéma de Goddard pour la *short wave radiation* (Chou et Suarez, 1994), le schéma de Kain-Fritsch (Kain, 2004) pour la paramétrisation de la convection dans le domaine le plus externe, la faible résolution qui caractérise ce domaine ne permettant pas de résoudre explicitement la convection, le schéma de Mellor-Yamada-Janjic (Janjic, 2002) pour la description du *planetary boundary layer* et le schéma de paramétrisation de la microphysique des nuages de Thompson (Thompson et al, 2004), pour la description de l'évolution des différentes classes d'hydrométéores au sein du nuage, de la nucléation à la formation des précipitations. Pour une description plus détaillée du modèle WRF, voir Skamarock et al. (2008).

Les simulations produites concernent les trois domaines emboîtés en cascade présentés dans la figure suivante, comprenant l'Europe centrale et méridionale et l'Afrique du Nord avec une résolution horizontale de 10 km, l'Italie centrale et septentrionale avec une résolution de 3,3 km et la zone autour de la ville de Gênes, avec une résolution de 1,1 km. Le nombre de niveaux verticaux adopté est de 35 pour les trois domaines de simulation.

Sur le plan opérationnel, deux simulations quotidiennes ont été produites, initialisées avec les exécutions du modèle à l'échelle globale Global Forecast System (Environmental Modeling Center, 2003) à 00 et 12 UTC, chacune couvrant un intervalle de temps de 48 heures sur les deux domaines à plus haute résolution et de 120 heures sur le domaine le plus extérieur.



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA

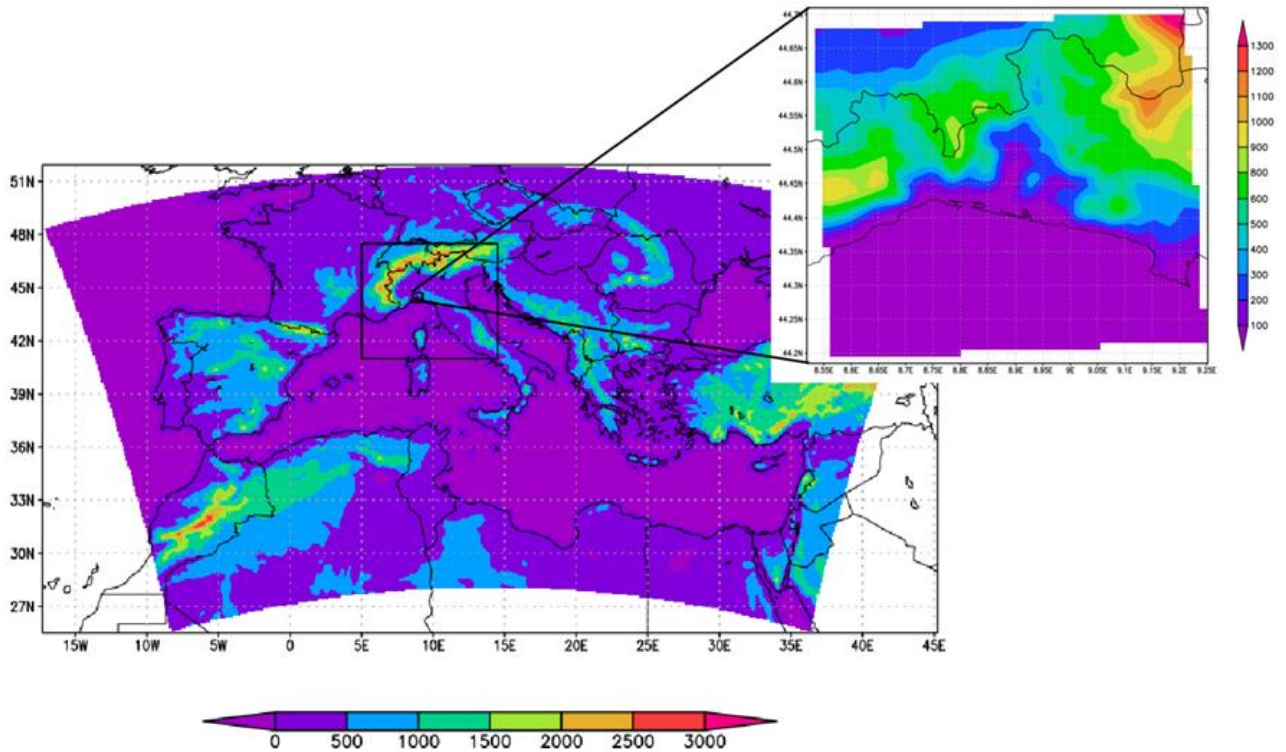


SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1



Position et orographie des trois domaines de calcul utilisés pour les simulations

La construction de deux maillages avec une résolution différente a pour but de fournir les conditions limites pour le maillage détaillé. Le maillage à grande échelle est résolu en fournissant en entrée les vitesses de vent et les pressions atmosphériques sur la zone considérée obtenues à partir de la prévision WRF. En outre, les conditions de marée nécessaires pour recréer l'évolution correcte de la surface libre sont fournies sur le bord extérieur.

Le code de calcul Delft3D aborde le *nesting* à travers deux conditions principales : fournir, comme conditions aux limites des *boundaries* du modèle détaillé, des niveaux d'eau ou des courants. Ces derniers doivent être choisis de manière exclusive. La possibilité de choisir l'une des deux conditions limites impose un choix raisonné. Comme l'ordre de grandeur des courants est d'environ 10 cm/s et qu'ils varient lentement, il a été décidé d'utiliser les niveaux d'eau comme condition aux limites du modèle détaillé. Cela garantit que les effets des éventuelles variations de niveau dues à *storm surge* sont capturés et, en même temps, que les courants résultant des variations de niveau sont générés en fonction de la direction et de l'ordre de grandeur des phénomènes qui se développent dans les zones d'intérêt.

Les figures suivantes montrent les domaines utilisés et les résultats obtenus dans les simulations utilisant le *nesting*. En particulier, des mailles curvilignes ont été adoptées pour



Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

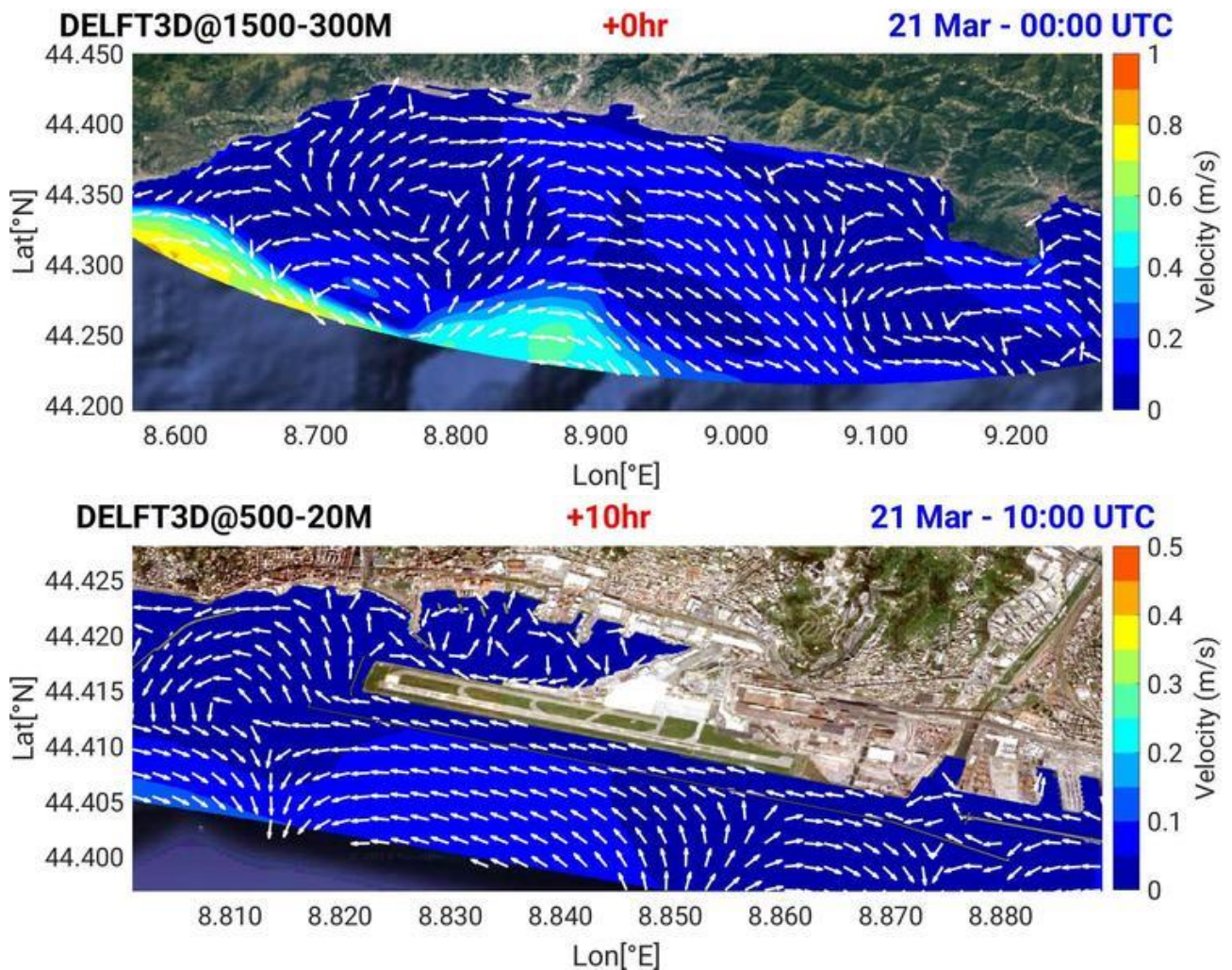
OUTPUT T2.1

la simulation des zones faisant face au port de Gênes et à l'intérieur du port lui-même, afin de suivre le trait de côte de manière plus détaillée. Ces mailles curvilignes ont été créées à partir de *splines* pouvant reproduire au mieux les contours du littoral.

Pour le port de La Spezia, on a opté pour un maillage curviligne, mais avec un pas régulier : les cellules ont tendance à changer de forme de manière télescopique à partir du point central, au fur et à mesure qu'elles s'éloignent vers le large.

Pour le port d'Olbia, on a opté pour un *nesting* à mailles carrées, la conformation du littoral ne nécessitant pas une disposition particulière des cellules.

Les figures suivantes montrent le domaine de calcul complet utilisé pour le port de Gênes et les détails des différentes zones portuaires obtenus grâce au *nesting*.





Interreg



UNION EUROPÉENNE
UNIONE EUROPEA



SINAPSI

MARITTIMO-IT FR-MARITIME

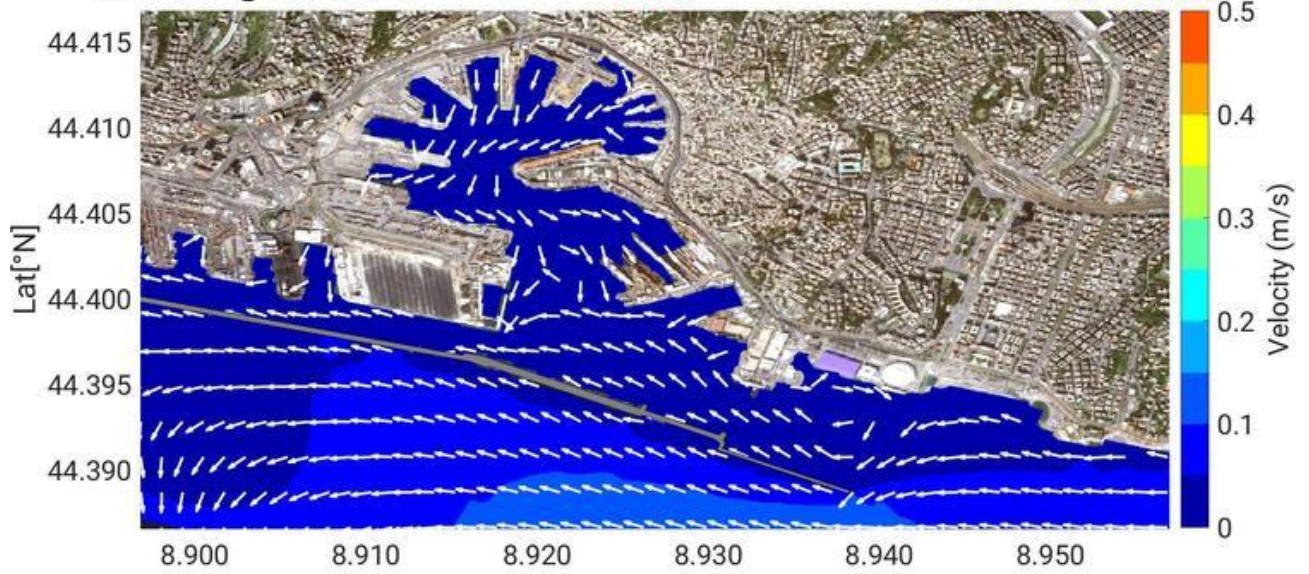
Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

DELFT3D@500-20M

+8hr

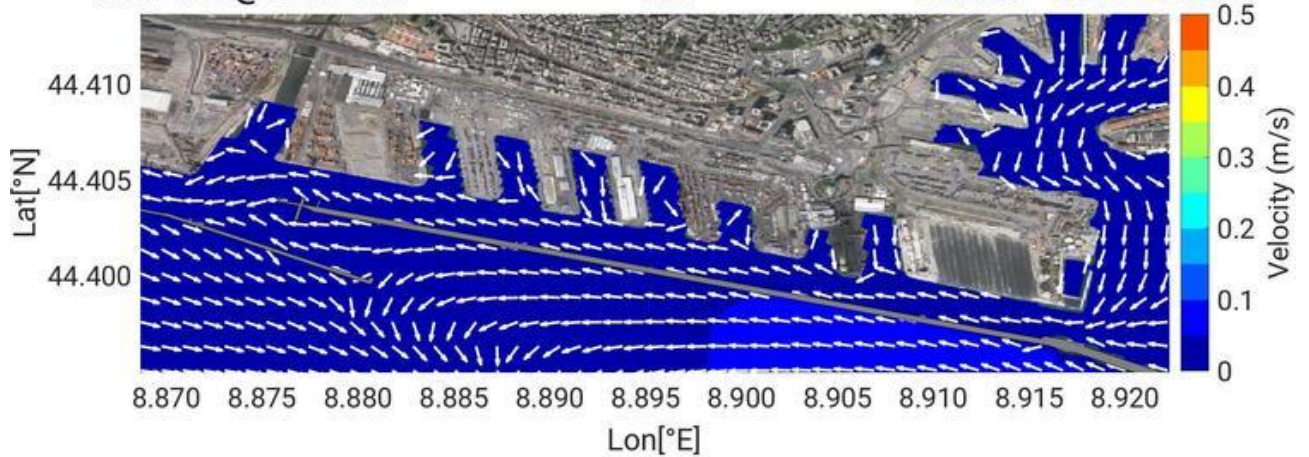
21 Mar - 08:00 UTC

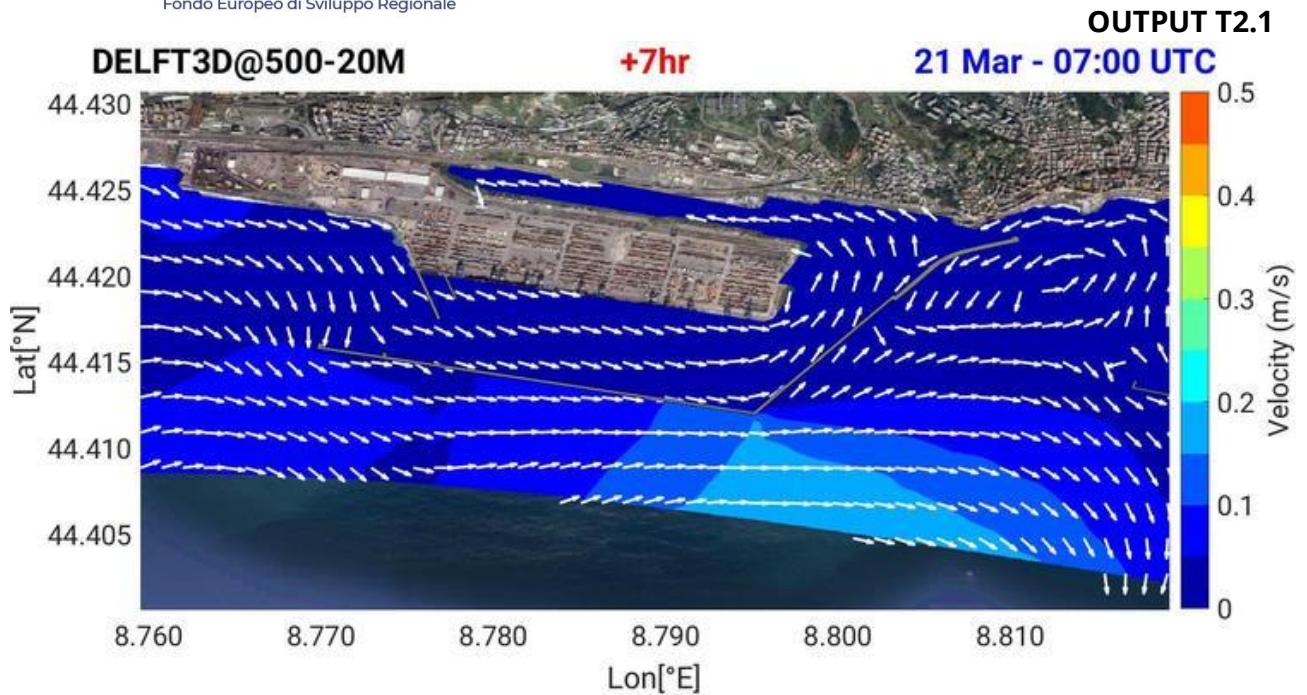


DELFT3D@500-20M

+9hr

21 Mar - 09:00 UTC



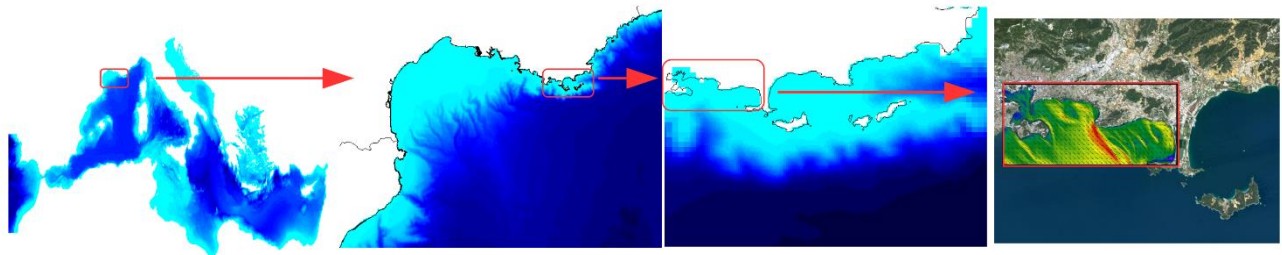


Simulations du Port de Gênes par nesting

6. APPLICABILITE DE NEMO ET CMS DANS LA ZONE PORTUAIRE DE TOULON

Les expériences de modélisation qui seront menées dans la zone de la rade de Toulon seront basées sur deux éléments principaux : a) l'utilisation de modèles océanographiques numériques en cascade et b) un modèle lagrangien pour le transport passif.

Les modèles numériques sont "en cascade" : en commençant par une configuration de NEMO appelée PSY4V3R1 qui résout le champ de mouvement dans une grille mère à résolution de 1/12 degré de toute la mer Méditerranée (produite par Mercator-Ocean International), puis en poursuivant, la version GLAZUR64 de NEMO résout une grille plus fine à résolution de 1/64 degré de la mer Méditerranée occidentale (Ourmières et al, 2011), une version opérationnelle dans le laboratoire du département MIO, puis la configuration NEMO nommée NIDOR192 résout le champ de mouvement à une résolution de 1/192 degré dans la zone littorale du Var, (ce module est couplé dynamiquement avec le module GLAZUR64 (Declerck et al, 2016) via le coupleur AGRIF), enfin la grille plus dense à une résolution de 100 m pour la rade de Toulon est résolue par le modèle MITGCM TBAY100, modèle opérant dans le département MIO (Mazoyer et al., soumis). La figure montre les domaines des 4 différentes configurations en cascade. Les forçages atmosphériques pour GLAZUR64, NIDOR192 et TBAY100 sont similaires et proviennent de MétéoFrance, garantissant ainsi une grande cohérence des structures dynamiques océanographiques qui seront obtenues avec les configurations implémentées.



Le modèle lagrangien qui sera utilisé est le modèle CMS (<https://github.com/beatrixparis/connectivity-modeling-system>). Il s'agit d'un modèle lagrangien open-source qui sera donc "modifiable" en fonction de certaines des différentes pistes qui seront suivies.

Le modèle CMS utilisera comme entrée le champ de quantité de mouvement obtenu à partir des calculs effectués par les modèles hydrodynamiques en cascade discutés ci-dessus.

Une des spécificités du modèle CMS est qu'il permet de travailler avec des modèles emboîtés : ainsi, les comparaisons des temps de transport seront possibles après avoir considéré une seule configuration (donc une résolution) ou plusieurs configurations en cascade (donc plusieurs résolutions).

La méthodologie proposée sera basée sur les aspects mentionnés ci-dessus. Les simulations numériques seront effectuées sur les machines appartenant au département MIO mais aussi sur les installations de calcul du GENCI (CNRS).



Interreg



MARITTIMO-IT FR-MARITIME

Fonds européen de développement régional
Fondo Europeo di Sviluppo Regionale

OUTPUT T2.1

Bibliografia

- Bove M.C., Brotto P., Cassola F., Cuccia E., Massabò D., Mazzino A., Piazzalunga A., Prati P. (2014). An integrated PM_{2.5} source apportionment study: Positive Matrix Factorization vs. the chemical transport model CAMx. *Atmospheric Environment*, 94, 474–286.
- Cassola F., Ferrari F., Mazzino A. (2015). Numerical simulations of Mediterranean heavy precipitation events with the {WRF} model: A verification exercise using different approaches. *Atmospheric Research*, 164-165, 210–225.
- Cassola F., Ferrari F., Mazzino A., Miglietta M.M. (2016). The role of the sea on the flash floods events over Liguria (northwestern Italy). *Geophysical Research Letters*, 43, 3534–3542.
- Chou M.D., Suarez M.J. (1994). An efficient thermal infrared radiation parameterization for use in general circulation models. *NASA Technical Memorandum*, 104606, 3–85.
- Environmental Modeling Center (2003). The GFS atmospheric model. NCEP Office Note 442, National Oceanic and Atmospheric Administration.
- Kain J.S. (2004). The Kain-Fritsch convective parameterization: An update. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 43, 170–181.
- Janjic Z.I. (2002). Non-singular implementation of the Mellor-Yamada level 2.5 scheme in the NCEP meso model. Technical Report 437, NOAA Science Center.
- Mlawer E.J., Taubman S.J., Brown P.D., Iacono J.M., Clough S.A. (1997). Radiative transfer for inhomogeneous atmosphere: RRTM, a validated correlated-k model for the long-wave. *Journal of Geophysical Research*, 102, 16663–16682.
- Ooyama K.V. (1990). A Thermodynamic foundation for modelling the moist atmosphere. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 47, 2580–2593.
- Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Huang X.Z., Wang W., Powers J.G. (2008). A description of the Advanced Research WRF Version 3. Technical report, National Center for Atmospheric Research.
- Thompson G., Rasmussen R.M., Manning K. (2004). Explicit forecasts of winter precipitation using an improved bulk microphysics scheme. Part I: Description and sensitivity analysis. *Monthly Weather Review*, 132, 519–542.