



micore

Morphological Impacts
and COastal Risks induced
by Extreme storm events



www.micore.eu

SYSTÈMES D'ALERTE PRÉCOCE POUR LES RISQUES CÔTIERS ASSOCIÉS AUX TEMPÊTES MARINES

Cinq résultats-clés
du projet MICORE







MICORE: Impacts morphologiques et risques côtiers associés aux événements de tempêtes extrêmes

Ces dernières années, les événements hydrométéorologiques extrêmes en zone côtière ont souligné les effets dévastateurs que peuvent entraîner les aléas côtiers maritimes. L'expérience de l'ouragan Katrina qui a frappé la ville de la Nouvelle Orléans, ainsi que les deux tsunamis majeurs dans l'Océan Indien et au Japon démontrent l'ampleur des dégâts qui peuvent survenir lorsque les aménagements et protections sont soumis à des phénomènes qui dépassent leur limite de dimensionnement et quand les plans d'évacuation et de gestion échouent.

En Mer du Nord, la surcote de tempête de 1953, qui a entraîné plus de 2000 morts et une inondation importante des Pays-Bas, de l'Angleterre, de la Belgique et de l'Ecosse, est un rappel pertinent de la vulnérabilité des côtes européennes à ces phénomènes. Avec environ 185 000 km de côtes, l'Europe comporte différents types d'environnements côtiers, incluant des habitats naturels, d'importantes villes côtières protégées par des structures en mer, des champs de dunes, des côtes rocheuses, des côtes océaniques exposées et des mers semi-fermées. Chacun de ces environnements comporte des spécificités que les gestionnaires doivent prendre en compte.

Economiquement, il est impossible de concevoir, financer et construire des solutions d'ingénierie à même de protéger l'ensemble des côtes européennes contre les événements extrêmes envisageables. De plus, dans un contexte de changement rapide du climat global, l'incertitude reste très forte sur le comportement futur des tempêtes extrêmes, en particulier sur leur intensité, leur fréquence et leur durée. En conséquence, il est nécessaire de développer de nouveaux systèmes de gestion de l'espace côtier qui puissent s'accommoder de ces incertitudes et permettent de minimiser les impacts de ces événements aux conditions supérieures aux limites prises en compte dans la conception des défenses côtières actuelles et futures.

Dans ce contexte, la capacité à prédire l'arrivée imminente d'une menace est un outil particulièrement utile pour la protection civile afin d'anticiper les impacts et de se préparer, s'il en était besoin, à mettre en œuvre les mesures appropriées de réduction des aléas. Le développement de la modélisation climatique permet aujourd'hui des prévisions telles que l'on peut estimer précisément le déroulement, l'intensité et autres variables importantes des tempêtes marines jusqu'à 3 jours à l'avance. A partir de ces prévisions, on peut connaître et communiquer en temps réel les impacts de ces forçages et les scénarios de risque sur le littoral. L'objectif principal du projet MICORE était d'obtenir des avancées significatives sur cette problématique.

LE PROJET MICORE

Le projet MICORE (Morphological Impacts and COastal Risks induced by Extreme storm events) est une initiative

européenne associant 16 institutions de recherche, entreprises et gouvernements de 9 pays. L'objectif principal du projet était de mettre en place et tester un système d'alerte en ligne pour la prévision des impacts morphologiques dus aux tempêtes marines en soutien aux stratégies de protection civile. Il a débuté en Juin 2008, pour une durée de 40 mois.

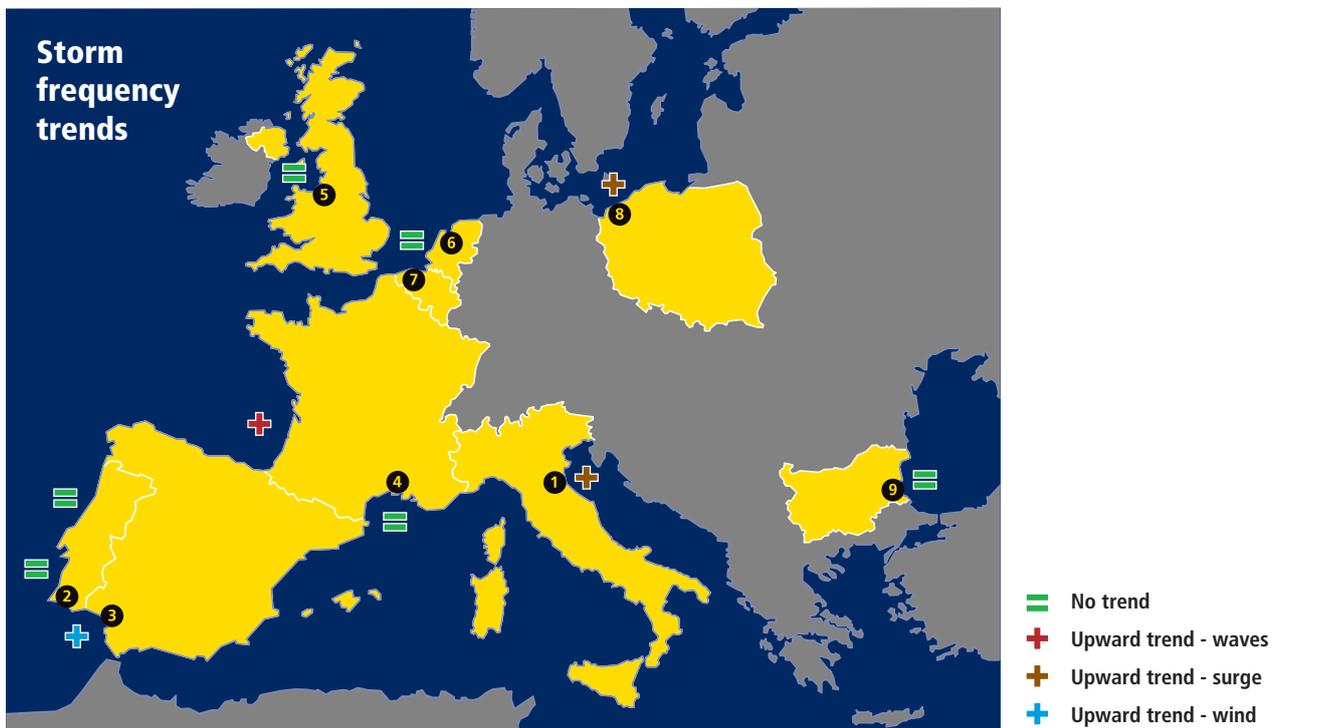
Le projet s'est focalisé sur 9 sites-pilotes (dans les 9 pays participant). Le choix de ces 9 sites aux caractéristiques très variables permet de développer une approche aussi générique que possible et de démontrer la robustesse de la méthodologie. Chacun des sites a fait l'objet de plusieurs phases de travaux dans le but de mettre en place un système d'alerte. Ces phases incluent: **01** une revue des événements historiques; **02** un suivi sur le terrain des événements de tempêtes; **03** l'utilisation des données de terrain pour évaluer et valider les modèles existant ainsi qu'un nouveau modèle développé pour les impacts des tempêtes; **04** le développement d'un prototype de système d'alerte; et **05** le lien entre le système d'alerte et les protocoles de protection civile.

Les prévisions météorologiques étant généralement fournies à 3 jours, le projet MICORE vise plus à développer des outils de réponse à court-terme que des stratégies de gestion à long-terme. C'est donc un exemple clair de recherche appliquée fournissant des produits pour la gestion côtière utiles et adaptés aux besoins des utilisateurs finaux.

table des matières

01 Compréhension des tendances historiques des tempêtes passées en Europe	p. 4
02 Démonstration de nouveaux protocoles de partage des connaissances et des données: l'approche OpenEarth	p. 5
03 Développement et validation d'un nouveau modèle open-source d'impacts des tempêtes	p. 6
04 La mise en œuvre de prototypes en ligne de systèmes d'alerte pour les risques côtiers	p. 7
05 La construction d'un meilleur dialogue entre scientifiques et utilisateurs finaux	p. 10

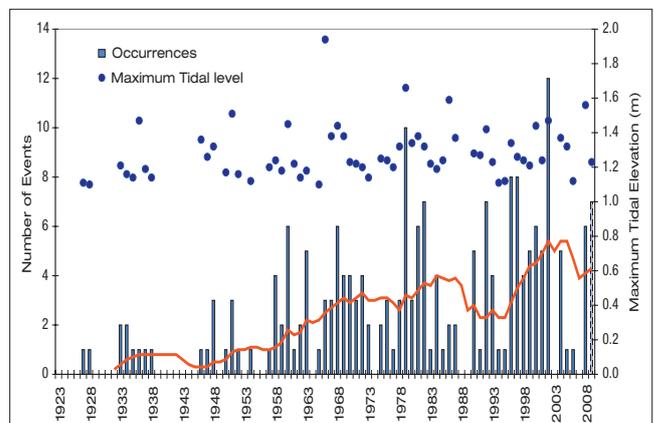
Pour une information plus détaillée sur les méthodologies et les résultats obtenus, nous vous invitons à consulter le site www.micore.eu.



1	Italy	Lido di Dante Lido di Classe	Natural with dunes, river mouths - defended coastline, infrastructure, high touristic value, microtidal	8 km
2	Portugal	Praia de Faro	Barrier-islands, dunes, overwashes, inlets, high touristic value, infrastructure, mesotidal	8 km
3	Spain	La Victoria Camposoto Beach	Urban beach, high touristic value, defended coastline, infrastructure - natural sand spit with dunes, overwashes, river mouth, salt marsh, touristic value, mesotidal	10 km
4	France	Lido of Sète to Marseillan	Low barrier island, dunes, high touristic value, defended coastline, infrastructure, microtidal	13 km
5	United Kingdom	Dee Estuary	Estuarine site with high occupation and hard engineering, defended coastline, infrastructure, sand dunes, tidal flats, mud flats, salt marsh, high touristic value, river mouth, macrotidal	10 km
6	The Netherlands	Egmond	Nourished beach, dunes, high touristic value, mesotidal	5 km
7	Belgium	Mariakerke	Wide dissipative urban beach regularly nourished, infrastructure, defended coastline, high touristic value, macrotidal	11 km
8	Poland	Dziwnow	Sand spit with low dunes; river mouth, protected coastline, nourishments to protect infrastructure, high touristic value, non-tidal	15 km
9	Bulgaria	Kamchia Shkorpilovtsi	Open beach on the Black Sea, dunes, river mouths, touristic value, non-tidal	13 km

Pour améliorer la compréhension des tempêtes passées en Europe, un total de 58 séries d'indicateurs (couvrant plus de 30 ans) a été rassemblé et analysé sur 12 sites. Ces indicateurs incluent les niveaux d'eau, les vagues, les vitesses des vents et leur sélection est basée sur la disponibilité des données et sur les caractéristiques d'exposition de chaque site.

Bien que quelques tendances locales aient été observées (voir ci-dessus et à droite), **aucune tendance significative sur les tempêtes n'a pu être dégagée à l'échelle européenne**. Cela ne signifie pas que les conséquences du changement climatique global (augmentation de température des mers, augmentation du niveau de la mer) n'auront pas d'influence sur les régimes de tempêtes et leurs impacts en Europe. Cela signifie que, dans les données existantes et disponibles, la variabilité interannuelle et court-terme domine sur tout signal potentiel à plus long terme.



Occurrences des événements de surcote de tempêtes (1923-2008) à Venise, Italie. La ligne rouge indique la moyenne glissante sur 10 ans du nombre d'événements par an et souligne l'augmentation progressive de la fréquence de ces surcotes.

L'une des problématique classique d'un programme de R&D multi-institutionnel et multinational est l'utilisation d'une part significative du budget pour la mise en place de structure pour le partage des données et des connaissances. Cette approche projet-par-projet est non seulement inefficace, mais elle signifie également, qu'au cours d'un programme, les données et connaissances peuvent devenir inaccessibles, indéchiffrables ou, dans le pire des cas, être perdues.

Pour répondre à cette problématique, le projet MICORE a adopté un nouveau protocole pour la gestion des données et des connaissances nommé OpenEarth. Au lieu d'être spécifique à un projet unique, OpenEarth (www.openearth.eu) est une base transverse où de multiples projets peuvent stocker et gérer leurs données, modèles et/ou leurs outils d'analyse. Le système est développé avec les meilleurs programmes en accès libre, avec un déroulement des opérations bien défini, décrit en protocoles ouverts et basés le plus possible sur les standards internationaux en usage. Etant commun à plusieurs projets, OpenEarth promeut la collaboration entre les projets et le partage des compétences, comme par exemple l'outil de visualisation utilisant Google Earth (à droite). L'implication d'utilisateurs finaux dans les projets fournit également une garantie de pérennisation de la base dans le futur.

MICORE a démontré les avantages nombreux à utiliser ce type de base multi-projets pour stocker et échanger des données. Par

cette approche, de nombreuses économies en temps et argent ont été réalisées sur le développement de la structure. Cependant, le bénéfice majeur reste la mise à disposition totale et gratuite pour les futurs projets de R&D des données de haute qualité produites au cours du projet, telles que les mesures d'impact des tempêtes (voir ci-dessous), les données historiques sur les événements (voir point 1) ainsi que les outils de traitement et d'analyse – ce qui est rarement le cas en fin de projet de recherche.

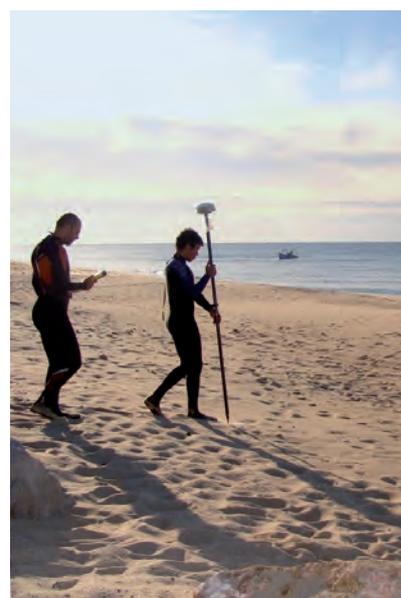


Un outil de visualisation des données utilisant Google Earth dans la base OpenEarth. Cet exemple illustre des mesures de profils de plage et traits de côte sur le littoral des Pays-Bas.

MESURER LES IMPACTS DES TEMPÊTES SUR LE TERRAIN

Afin de s'assurer de la pertinence et de la qualité des modélisations des impacts morphologiques et du système d'alerte, les simulations doivent être validées par des données réelles, obtenues sur le terrain. Lors des deux hivers successifs (2008 - 2010), les partenaires de MICORE ont réalisé une série de mesures pré-tempêtes et post-tempêtes pour chaque événement significatif. Différentes techniques de suivi des plages ont été utilisées: levés GPS topographiques et bathymétriques, vols LiDAR à haute résolution, mesures de vitesses des courants et de vagues, imagerie vidéo et prélèvements sédimentaires.

Un événement particulièrement important a été observé au sud du Portugal lors de l'hiver 2009-2010. Il s'agissait d'un groupe de 5 tempêtes qui ont causé des dégâts considérables aux maisons et sur le littoral. Pendant cet événement, des levés quasi-journaliers de la plage ont pu être réalisés afin de suivre les évolutions morphologiques rapides de la plage. Cet événement a été simulé avec le modèle X-Beach qui donne des évolutions morphologiques très similaires aux observations sur le terrain.



Relevés en trois dimensions utilisant un GPS sur la plage de Faro, Portugal

Une partie intégrante d'un système d'alerte pour les risques côtiers liés aux tempêtes est le module de prévision de la morphologie (érosion côtière, submersion). Comme indiqué dans le schéma du système d'alerte (voir point 4), ce module utilise les prévisions des forçages (surcote de tempête, vagues) pour simuler les impacts morphologiques sur le littoral. Ceci est réalisé avec le modèle XBeach, un programme libre d'accès et de droits, initialement développé pour le Corps des ingénieurs de l'armée des Etats-Unis.

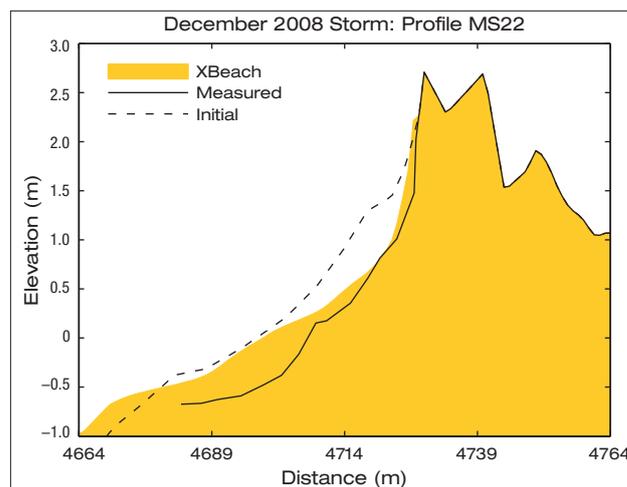
Dans le cadre de MICORE, le modèle XBeach a été amélioré et validé en utilisant les données sur les impacts des tempêtes collectées sur les 9 sites. Dans la mesure où chacun des sites représente un environnement et une géomorphologie spécifique, cela permet de tester les fonctionnalités du modèle dans des situations très variées, pour assurer une

utilisation du code dans toute l'Europe et dans le monde. Quelques résultats sont présentés ci-dessous pour les sites italien et bulgare. En Italie, le développement était axé sur l'érosion du front dunaire lors des tempêtes et le modèle est en mesure de simuler correctement la forme du front dunaire après-tempête (ci-dessous). En Bulgarie, le développement a porté sur le calcul du run-up maximal (surcote et action des vagues) afin de connaître l'extension de la zone inondée, et le modèle est, là-encore, assez performant.

Dans le cadre du projet, un important transfert de connaissances a été réalisé entre les géologues et naturalistes qui connaissaient bien les conditions locales et les développeurs de modèles numériques. L'aboutissement de ces développements a permis l'incorporation du modèle Xbeach dans tous les prototypes de système d'alerte développés.



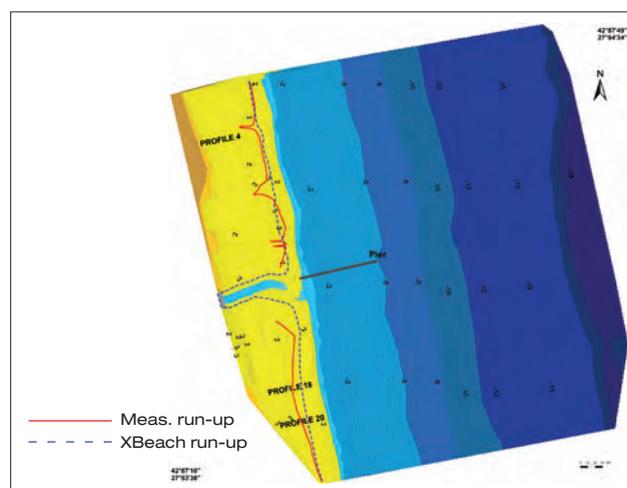
Une tempête en Décembre 2008 au Lido di Classe, Nord de l'Italie



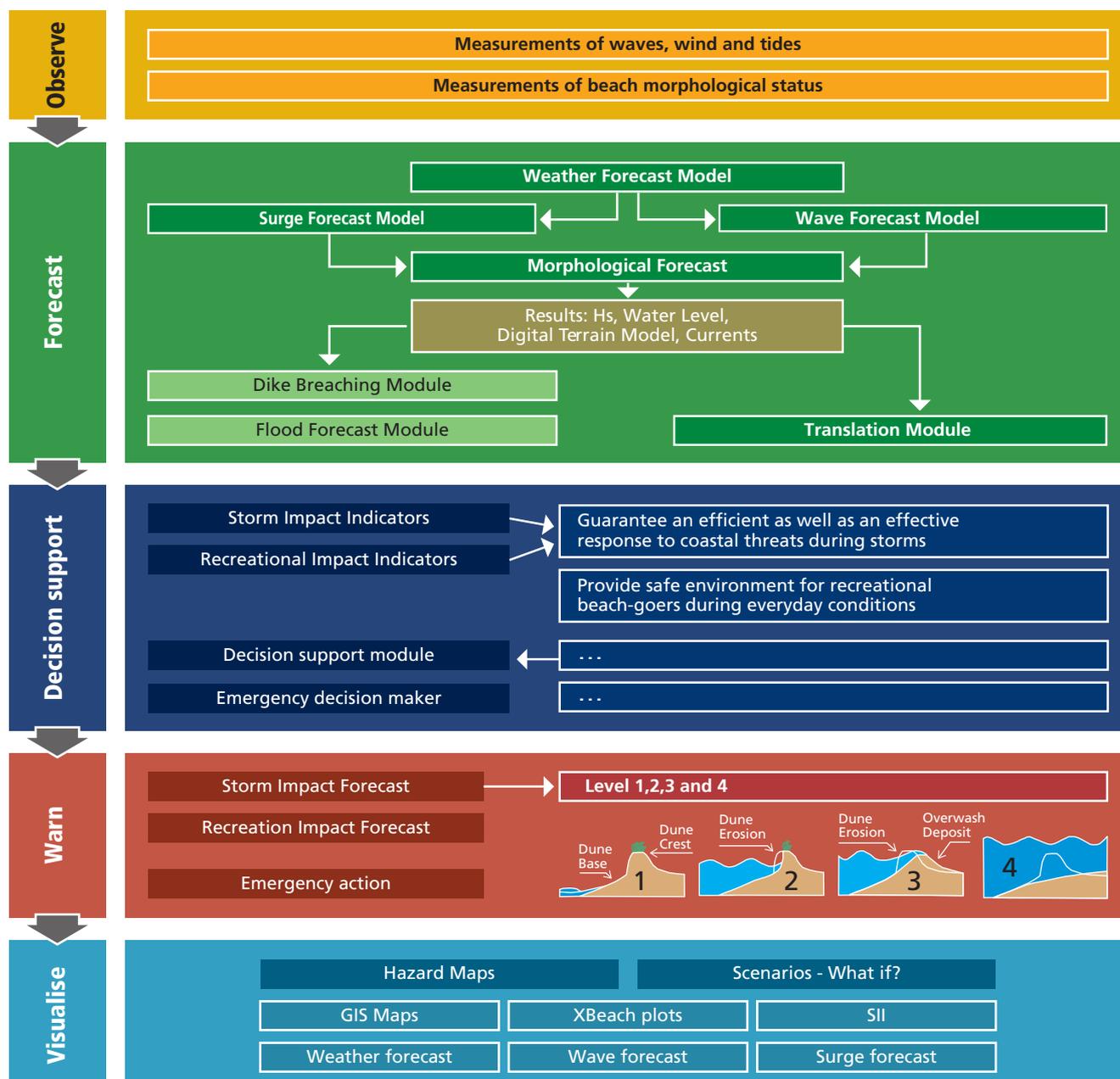
Modélisation X-beach et validation de l'érosion du front dunaire lors de cet événement



Jet de rive pendant une tempête en Mars 2010 à Kamchia Shkorpilovtsi, Bulgarie



Validation de l'estimation du jet de rive simulé avec X-beach pour cet événement



Une structure générique du système d'alerte pour les risques côtiers a été développée de manière à pouvoir être adaptée aux 9 prototypes. Celle-ci est basée sur 5 modules:

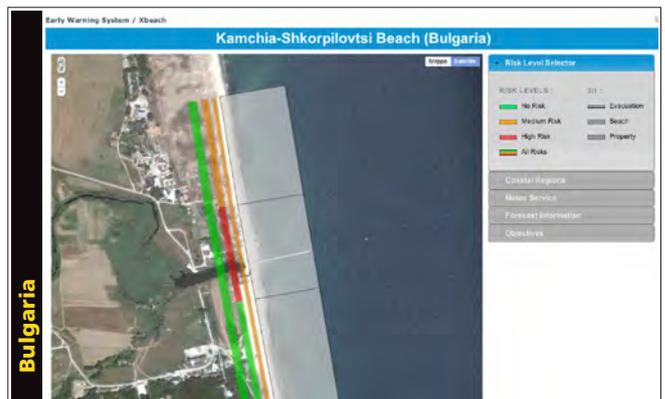
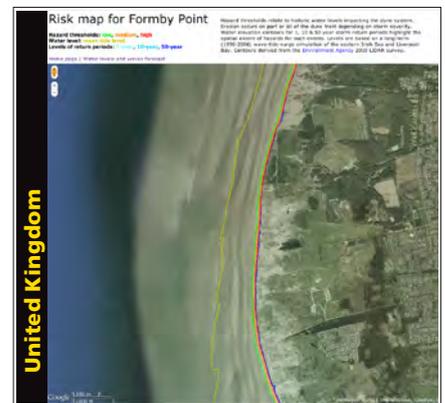
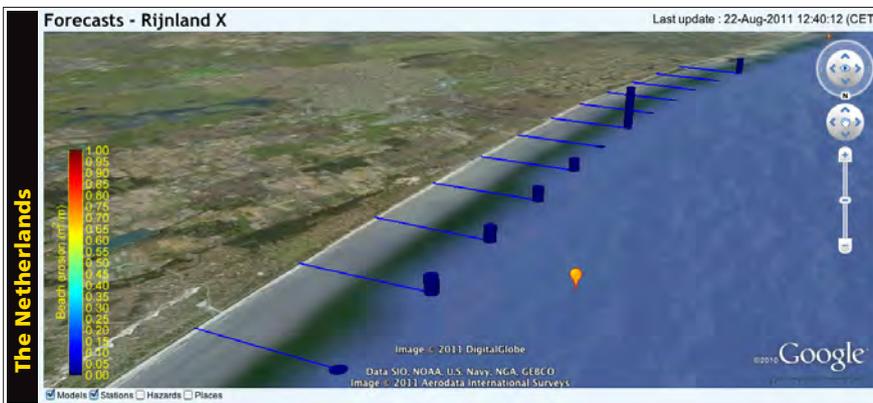
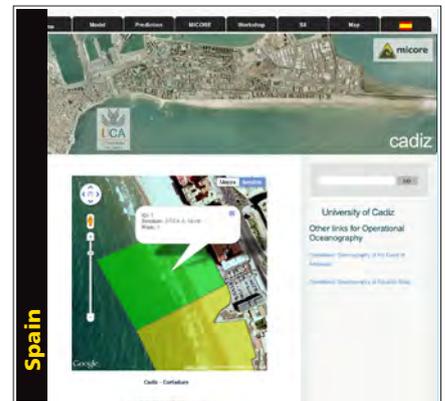
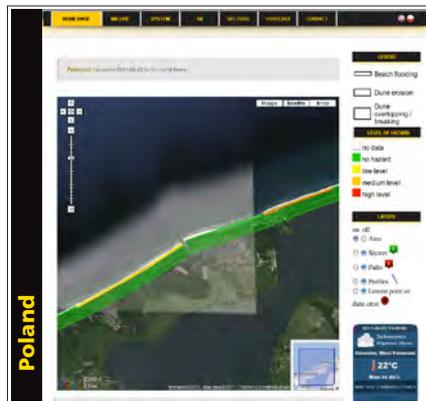
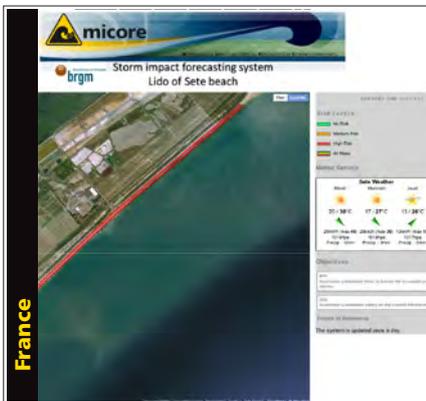
- Un **module d'observation**, où la météo, vagues, surcote et profil de plage initial, nécessaires pour les simulations, sont collectés
- Un **module de prévision**, où sont modélisées les prévisions météorologiques, de vagues, de surcote et de morphologie (XBeach)
- Un **module d'aide à la décision**, contenant les outils (i.e. Indicateurs d'impacts des tempêtes et cartes d'aléas) pour assister la prise de décision

- Un **module d'alerte**, où les alertes sont générées en fonction des seuils spécifiques à chaque site
- Un **module de visualisation**, affichant en ligne les informations pour aider les utilisateurs finaux.

Chacun des prototypes présentés fonctionne en ligne, exécutant à la chaîne les différents modules quotidiennement. Mettre à jour le système quotidiennement, et non seulement lorsque des conditions de tempêtes sont prévues, s'est avéré crucial pour tester la robustesse et améliorer la confiance des utilisateurs dans la qualité globale du système d'alerte.



Systemes d'alerte precoce





Exemple de système d'alerte: Lido de Sète, France

<http://ews-sete.hostoi.com>

Localisé sur la façade méditerranéenne française, le Lido de Sète est un cordon sableux séparant l'étang de Thau de la mer.

Le prototype de système d'alerte sur ce site vise à améliorer la protection civile par la prévision de l'état de deux indicateurs d'impacts des tempêtes:

- 1 la hauteur d'eau sur la plage pour le passage des personnes;
- 2 le franchissement du cordon dunaire comme indicateur de submersion marine majeure.

Les niveaux de risques associés à chaque indicateur (**rouge** = fort; **orange** = modéré, **vert** = faible) sont calculés quotidiennement sur des segments de plage et simplement représentés par des lignes parallèles sur une cartes interactive google map. De cette manière, les autorités en charge de la protection civile peuvent facilement et rapidement visualiser les zones potentiellement dangereuses et leurs localisations le long de la plage du Lido de Sète.

Des informations plus détaillées sur les prévisions sont disponibles sur le site. Dans le futur, cette manière de visualiser le système d'alerte pourrait être étendue à toute la façade maritime



Le prototype de système d'alerte pour la plage du Lido de Sète, France: **A**) Visualisation interactive

google maps, indiquant les niveaux de risques prédits pour chacun des indicateurs d'impact des tempêtes;

B) Présentation plus détaillée des seuils choisis, et exemple de résultats obtenus pour un scénario de

tempête fictive ayant une période de retour de 50 ans.

L'un des points critiques, mis en évidence par le projet MICORE, est l'absence, dans de nombreux pays européens, de stratégies de protection civile pour les risques liés aux tempêtes côtières. Dans les pays qui ont ces plans stratégiques, ceux-ci sont principalement basés sur des alertes météorologiques qui ne prennent pas forcément en compte la vulnérabilité d'un espace côtier et de ces caractéristiques particulières (le type de morphologie, le degré d'urbanisation). La raison de cette absence de schémas (contrairement stratégies de gestions des crues continentales par exemple) est en partie due au fossé existant entre les utilisateurs finaux intervenant dans les stratégies de protection civile et les experts qui ont une connaissance approfondie des processus complexes littoraux.

MICORE a activement cherché à encourager cette coopération entre les experts et les utilisateurs finaux. L'une des démarches principales développées a été l'adoption d'une méthode de « schéma de référence », une approche basée sur la mise en cohérence des résultats scientifiques avec les besoins des décideurs. Cette approche passe par la définition et l'utilisation d'indicateurs d'impact des tempêtes (voir encart ci-dessous). Le fait de discuter ensemble de ces indicateurs et de leur pertinence a permis d'améliorer la prise de conscience des deux parties sur l'importance d'améliorer la gestion de ces aléas côtiers dans le futur. Grâce à cette démarche, les prototypes sont réalisés sur mesure et donc plus à même d'être adoptés pour une utilisation opérationnelle.



INDICATEURS D'IMPACT DES TEMPÊTES (SII)

Les paramètres physiques tels que les volumes érodés, les vitesses de courant, les niveaux d'eau, les débits franchissant sont couramment utilisés par les experts pour quantifier les impacts des tempêtes. Cependant, du point de vue d'un utilisateur final, ces paramètres sont difficiles à utiliser de manière opérationnelle, lorsque des décisions rapides doivent être prises avec les informations disponibles. Les modules de prévision et de décision du système d'alerte se sont par conséquent attachés au développement des dits Indicateurs d'Impact des Tempête (SII). Les SII sont une quantification du système côtier adaptés à

la prise de décision. Des seuils leurs sont associés, déterminant les niveaux d'action à mettre en œuvre par les autorités.

Un exemple d'indicateur est la largeur de la bande de sécurité, utilisée par le système d'alerte italien pour mesurer la largeur de plage sèche permettant le passage des personnes sur la plage. Si cette bande devient étroite, les personnes prennent le risque de ne pas pouvoir s'échapper en cas de fortes vagues. Dans ce cas, l'action appropriée est de fermer l'accès à la plage.

Objectif stratégique	Objectif opérationnel	Concept d'état quantitatif	Jalon état désiré	Jalon état actuel	Procédure d'intervention	Procédure d'évaluation
Empêcher les pertes humaines dues aux conditions maritimes dangereuses	Signaler que la plage est fermée en cas de conditions maritimes dangereuses	Largeur de la bande de sécurité (SCW) , définie comme la distance entre le pied de dune et le niveau d'eau maximal	Aléa faible quand $SCW > 10$ m, Aléa Moyen quand $5\text{ m} < SCW < 10$ m et Aléa Fort quand $SCW < 5$ m	Séries temporelles de SCW prédit	Placer une signalisation sur la plage pour signifier sa fermeture	Vérifier que la signalisation a bien été mise en place et qu'aucune perte humaine n'est à déplorer



Conclusion et recommandations

Le travail réalisé dans le cadre de MICORE a permis des avancées significatives dans le domaine de la gestion des risques côtiers liés aux tempêtes et des stratégies de protection civile. Le développement de 9 prototypes de système d'alerte démontre la faisabilité, sur les littoraux européens vulnérables, d'un outil en ligne basé sur des acquisitions de données en temps réel et leur assimilation dans des modèles hydrodynamique et morphodynamique. Ces prototypes posent les bases pour un développement en Europe qui s'appuierait sur les principes suivants:

- **Utiliser une structure générique adaptable à une grande diversité d'environnements côtiers**
- **Utiliser des programmes gratuits et libres sans besoin de licence commerciale**
- **Adapter les fonctionnalités du système d'alerte aux besoins des utilisateurs finaux.**

Il est par conséquent recommandé que des ressources soient affectées au développement de stratégies de systèmes d'alerte pour les risques côtiers liés aux tempêtes, à une échelle plus large, à des niveaux régionaux, nationaux et européens. Ces schémas pourraient être fusionnés aux schémas existant, tels que les systèmes d'alerte tsunami ou crues continentales. En outre, la surveillance continue des tempêtes à venir, en utilisant des méthodes précises et pouvant être mises en œuvre rapidement, demeure cruciale pour continuer à améliorer la compréhension de la variabilité naturelle des tempêtes en Europe et pour l'évaluation continue des systèmes d'alerte développés.





Prof. Paolo Ciavola
Coordinator | WP7 Leader
Italy

Dipartimento di Scienze della Terra
Università degli Studi di Ferrara

Phone: +39.0532.97.46.22
Fax: +39.0532.97.47.67
E-mail: cvp@unife.it



Mr. Marco Deserti
Italy

Hydro-Meteorological and Climatological Service
of the Emilia Romagna ARPA-SIMC

Phone: +39.051.52.59.15 +39.051.649.7511
Fax: +39.051.649.75.01
E-mail: mdeserti@arpa.emr.it



Mrs. Luisa Perini
WP6 Leader
Italy

Geological Survey of the Emilia-Romagna Region

Phone: +39.051.527.4212
Fax: +39.051.527.4208
E-mail: lperini@regione.emilia-romagna.it



Prof. Oscar Ferreira
WP1 Leader
Portugal

University of Algarve
CIACOMAR-CIMA

Phone: +351.289.800.900
Fax: +351.289.800.069
E-mail: offerreir@ualg.pt



Prof. Rui Taborda
Portugal

University of Lisbon
Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade
de Lisboa

Phone: +351.217.500.357 +351.217.500.066
Fax: +351.217.500.119
E-mail: rtaborda@fc.ul.pt



Dr. Javier Benavente
Spain

University of Cadiz
Department of Earth Sciences

Phone: +34.956.016.447 +34.956.016.276
Fax: ++34.956.016.195
E-mail: javier.benavente@uca.es



Dr. Balouin Yann
WP3 Leader
France

BRGM-French Geological Survey
Regional Geological Survey
of Languedoc-Roussillon Montpellier

Phone: +33.467.157.972
Fax: +33.467.157.972
E-mail: y.balouin@brgm.fr



Mr. Piet Haerens
WP5 Leader
Belgium

International Marine Dredging Consultants

Phone: +32.327.092.94
Fax: +32.323.567.11
E-mail: piet.haerens@imdc.be



Prof. Jon Williams
Active partner months 1-30
United Kingdom

University of Plymouth
School of Geography

Phone: +44.2380.711.840
Fax: +44.2380.711.841
E-mail: jwilliams@abpmer.co.uk



Prof. Kazimierz Furmanczyk
Poland

University of Szczecin INoM
Laboratory of Remote Sensing and Marine Carto-
graphy

Phone: +48.91.444.23.51
Fax: +44.2380.711.841
E-mail: kaz@univ.szczecin.pl



Dr. Nikolay Valchev
Bulgaria

Institute of Oceanology, Bulgarian Academy of
Sciences

Phone: +359.52.370.493 +359.52.370.486
Fax: +359.52.370.483
E-mail: valchev@io-bas.bg



Dr. Albertus "Ap" Van Dongeren
WP4 Leader
The Netherlands

Stichting Deltares

Phone: +31.15.285.8951
Fax: +31.15.285.8951
E-mail: ap.vandongeren@wldelft.nl



Dr. Mark Van Koningsveld
WP2 Leader
The Netherlands

Technical University of Delft
Civil Engineerin

Phone: +31.6.53.246.297 +31.10.447.8767
Fax: +31.10.447.8100
E-mail: M.vanKoningsveld@tudelft.nl



Dr. Alejandro Jose Souza
United Kingdom

Natural Environment Research Council
Proudman Oceanographic Laboratory

Phone: +44.15.17.954.820
Fax: +44.15.17.954.801
E-mail: ajso@pol.ac.uk



Dr. Pedro Ribera
Spain

University Pablo de Olavide
Department of Physical, Chemical and Natural
Systems

Phone: +34.954.349.131
Fax: +34.954.349.814
E-mail: pribrod@upo.es



Mrs. Stefania Corsi
Italy

Consorzio Ferrara Ricerche

Phone: +39.0532.76.24.04
Fax: +39.0532.76.73.47
E-mail: stefania.corsi@unife.it

Further Information

Review of climate change impacts on storm occurrence, MICORE Deliverable 1.4. Available for download at www.micore.eu

Ciavola P. et al. (2011) Storm impacts along European coastlines. Part 1: the joint effort of the MICORE and ConHaz Projects, *Environmental Science & Policy*, doi:10.1016/j.envsci.2011.05.011

Ciavola P. et al. (2011) Storm impacts along European coastlines. Part 2: lessons learned from the MICORE project, *Environmental Science & Policy*, doi:10.1016/j.envsci.2011.05.009

Ferreira O. et al. (2009) Coastal storm risk assessment in Europe: Examples from 9 study sites, *Journal of Coastal Research*, SI56, 1632 - 1636

MICORE Project documentary: 13 min video presentation. Available for download at www.micore.eu

Roelvink et al. (2009) Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands, *Coastal Engineering*, 56, 1133-1152

Van Koningsveld M. and Mulder J.P.M. (2004) Sustainable coastal policy developments in the Netherlands. A systematic approach revealed, *Journal of Coastal Research*, 20, 375-385

