



Etude des risques et identification des options d'adaptation  
des écosystèmes de la zone marine côtière de l'Accord  
RAMOGE

Rapport Final

Février 2020



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

## Sommaire

1	Introduction .....	6
2	La Zone couverte par l'accord RAMOGE .....	7
3	Le cadre théorique et la base de données .....	10
3.1	Forçage .....	12
3.2	Vulnérabilité .....	18
3.3	Exposition .....	18
3.4	Base de données .....	20
3.5	La méthodologie MEDSEA .....	22
3.6	Délimitation de la zone d'Aléa Côtier et de la Zone d'Aléa Marin .....	22
3.6.1	Zone d'Aléa Côtier .....	22
3.6.2	Zone d'Aléa Marin .....	23
3.7	Calcul du risque sur la zone RAMOGE .....	24
3.8	Coûts associés à la perte d'écosystèmes côtiers .....	35
3.9	Les 3 zones pilotes .....	40
3.9.1	Antibes .....	40
3.9.2	Monaco .....	43
3.9.3	Portofino .....	46
4	Conclusions .....	49
5	Recommandations pour les décideurs .....	51
5.1	Directives pour l'élaboration d'une stratégie pour l'adaptation des écosystèmes marins-côtières au changement climatique .....	51
5.2	Mesures d'adaptation pour les écosystèmes marins et côtiers .....	52
	Bibliographie .....	54
	Sitographie .....	57



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

---

Ce rapport a été préparé en 2017-2018 par la Mediterranean Sea and Coast Foundation (MEDSEA) dans le cadre de la convention de collaboration entre Plan Bleu et l'Accord RAMOGE sur l'étude des risques et identification des options d'adaptation des écosystèmes de la zone marine côtière RAMOGE.

#### AUTEURS

Alessio Satta (MEDSEA) et Manuela Puddu (MEDSEA) avec la contribution de Vania Statzu (MEDSEA), Vanessa Melas (MEDSEA), Francesca Frau (MEDSEA) et Giovanni Besio (Université de Genès).

#### RELECTEURS

Lina Tode et Antoine Lafitte (Plan Bleu)

#### NOTICE LEGALE

Les appellations employées dans le présent document et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de MEDSEA aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, régions ou villes, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

#### CITATION

Satta A., Puddu M., Statzu V., Melas V., Frau F. (2018). Etude des risques et identification des options d'adaptation des écosystèmes de la zone marine et côtière de l'Accord RAMOGE.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

## Principales abréviations utilisées

B	Bathymétrie
CLC	Corine Land Cover
D	Distance de la côte
DRO	Sécheresses
DTM	Élévation
E	Exposition
E <sub>c</sub>	Exposition Côtière
E <sub>M</sub>	Exposition Marine
F	Forçage
F <sub>c</sub>	Forçage Côtier
F <sub>M</sub>	Forçage Marin
FI	Hauteur des précipitations
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIZC	Gestion intégrée des zones côtières
HEA	Etat des écosystèmes
HSC	Modification historique du littoral
ISPRA	Institut italien pour la protection de l'environnement et la recherche
IRC	Indice des risques côtiers
L	Géomorphologie
LTER	Recherche écologique à long terme
MEDSEA	Mediterranean Sea and Coast Foundation
n	Coefficient de rugosité
NAT	Zones protégées
P	Précipitations
PSU	Unité de Salinité Pratique
R	Risque
R <sub>c</sub>	Risque côtier
RM	Risque Marin
RCP 8.5	Representative Concentration Pathways
ROU	Rugosité
RU	Run Up
SAL	Changement de la salinité de la mer
SAL <sub>0</sub>	Changement de la salinité de la surface de la mer
SAL <sub>-100</sub>	Changement de la salinité de la mer à 100 mètres de profondeur
SE	Services Ecosystémiques
SIG	Système d'Information Géographique
SLR	Élévation du niveau de la mer



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

---

SLR100	Élévation du niveau de la mer d'ici 2100
SS	Ondes de tempête
SWH	Hauteur Significative des vagues
T	Changement de la température de la mer
T <sub>0</sub>	Changement de la température de la surface de la mer
T <sub>-100</sub>	Changement de la température de la mer à 100 mètres de profondeur
TEEB	L'économie des écosystèmes et de la biodiversité
TWH	Hauteur totale de l'eau
U	Incertitude
V	Vulnérabilité
V <sub>C</sub>	Vulnérabilité Côtière
V <sub>M</sub>	Vulnérabilité Marine
VET	Valeur Economique Totale
ZAC	Zone d'Aléa Côtier
ZAM	Zone d'Aléa Marin
ZdA	Zone d'Aléa



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

## 1 Introduction

Dans le secteur de l'adaptation au changement climatique, l'évaluation des risques est fondée en partie sur la compréhension des scénarios qui pourraient avoir le plus grand impact, même si leur probabilité est faible. La politique climatique actuelle est basée sur une compréhension de ce qui pourrait se produire, alors qu'en fait, il y a un risque important que les températures futures soient plus extrêmes. Si le but de la société est de comprendre et d'éviter le pire des cas, l'ampleur et la probabilité des scénarios extrêmes devraient être un élément important dans la politique climatique. Le plus inquiétant c'est que cette augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> est plus alarmante que le pire scénario retenu par le groupe international d'experts sur l'évolution du climat (GIEC), ce qui laisse entrevoir de graves conséquences pour le climat et ses impacts sur les écosystèmes. Il existe une incertitude considérable quant à la nature précise et le calendrier des impacts du changement climatique. Les gouvernements devraient veiller à réduire l'incertitude, à ce que le risque climatique soit sans cesse évalué et que de nouvelles informations et connaissances soient utilisées pour guider les réponses politiques. Les gouvernements doivent également reconnaître leur rôle dans la correction des défaillances du marché, par exemple, par la tarification des externalités négatives des émissions de gaz à effet de serre. Des politiques efficaces pour la tarification du carbone, et la divulgation obligatoire et standardisée des risques climatiques, devraient permettre aux marchés de répondre rationnellement et systématiquement aux changements climatiques. Les approches actuelles des décisions politiques et d'investissement ont tendance à placer une valeur plus élevée sur le court terme, potentiellement au détriment des générations futures. Les décideurs doivent tenir compte des horizons temporels sur lesquels ils fondent les décisions et comment leurs décisions peuvent affecter les générations futures.

C'est précisément dans ce contexte que s'inscrit le problème des impacts du changement climatique sur les écosystèmes côtiers et marins de la région côtière et marine couverte par l'accord RAMOGE. Les décideurs devront évaluer les risques liés à la perte de valeur de ces écosystèmes. Dans le but d'évaluer les impacts sur la zone RAMOGE, le 21 mars 2016 à Monaco dans le cadre du groupe de travail GIZC de l'Accord RAMOGE, le Plan Bleu a présenté la méthodologie et les résultats des travaux relatifs à l'élaboration d'un indice des risques côtiers (IRC) développé en partenariat avec Acclimatise et la fondation MEDSEA. Au terme de la présentation, celle-ci a reçu un intérêt de la part des membres du groupe de travail. Toutefois les représentants de la Région Ligurie ont fait savoir que, dans le cadre de la Directive 2007/60/CE du 23 octobre 2007 dite « Inondation », une étude présentant des similarités a été menée reprenant une partie des problématiques présentées caractérisant l'IRC. Sur cette base le groupe de travail a suggéré au Plan Bleu et à MEDSEA de préparer une note qui sera soumise soit au groupe GIZC, soit au directement au prochain Comité Technique RAMOGE, précisant l'intérêt d'un travail sur l'évaluation des impacts du changement climatique sur les zones côtières de la Zone RAMOGE. L'objectif spécifique de cette mission consiste en la mise en valeur des études existantes en évitant des duplications de travaux déjà menés en France ou en Italie. Dans le cadre de ce mandat, MEDSEA a défini une méthodologie spécifique pour évaluer les risques auxquels sont exposés les écosystèmes marins et côtiers de la région couverte par l'accord RAMOGE.



## 2 La Zone couverte par l'accord RAMOGE

La phase initiale de l'étude s'est concentrée sur l'identification des principaux écosystèmes, marins et côtiers, pertinents pour l'échelle RAMOGE.



Fig. 1 - Carte de la zone d'étude RAMOGE.

Suite aux discussions avec le groupe de travail GIZC - RAMOGE, les écosystèmes suivants ont été identifiés et sélectionnés comme axes de l'étude :

### Rivages sablonneux

Les plages présentent par nature des formes de côtes instables, car elles réagissent aux modifications de l'approvisionnement en sédiments, de l'hydrodynamique côtière et du niveau de la mer. En Europe, l'érosion côtière est un problème de longue date et de grande ampleur : plus de 40% des plages de France, d'Italie et d'Espagne sont en érosion (EUROSION, 2004 ; Alexandrakis G., 2014). L'évolution des plages dépend de processus tels que la disponibilité des sédiments, les tempêtes causant des changements qui persistent dans le temps, les interactions complexes entre les corps sédimentaires littoraux et côtiers, l'élévation du niveau de la mer et le cadre géologique côtier. L'érosion, en revanche, est généralement le résultat conjoint d'un large éventail de facteurs, naturels (tels que les vents, les tempêtes et les courants littoraux) et induits par l'homme (tels que l'ingénierie côtière, la régulation des bassins fluviaux), qui fonctionnent à des échelles temporelles et spatiales différents (Alexandrakis G., 2014).

Le problème de l'érosion représente ainsi, non seulement une menace pour le développement touristique, mais aussi une forte atteinte à la pérennité des infrastructures, ce qui impose aux collectivités, une gestion intégrée du littoral qui ne saurait faire abstraction de la connaissance approfondie des causes du phénomène érosif.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

### Forêts côtières

Les forêts méditerranéennes fournissent une diversité de produits tels que le bois, les produits forestiers non ligneux, y compris le liège, le fourrage pour le bétail et les plantes aromatiques et le gibier, qui sont tous importants pour le développement socio-économique ou culturel et contribuent à la sécurité alimentaire et à la réduction de la pauvreté dans les zones rurales. Mais les forêts méditerranéennes sont également confrontées à un ensemble de menaces telles que le changement climatique, l'expansion du sol agricole, le tourisme, le développement urbain et d'autres pratiques d'utilisation des sols qui contribuent aux pertes de surface forestière. Les forêts méditerranéennes seront l'un des écosystèmes forestiers les plus touchés dans un avenir proche, avec l'augmentation des températures et la diminution des précipitations (Lucas-Borja, 2013).

Le développement urbain au cours de la seconde moitié du vingtième siècle a contribué à réduire significativement les écosystèmes forestiers côtiers, intensifiant les processus de perturbation qui menacent les zones naturelles.

### Zones humides

Les lagunes côtières sont des masses d'eaux peu profondes séparées de la mer (ou de l'océan) par une barrière, telle qu'un banc de sable, un bardeau ou un remblai, mais reliées à la masse d'eau salée plus grande par au moins une entrée, bien que cela puisse être temporaire ou limité dans certains cas. La salinité de l'eau dans les lagunes côtières peut être très différente de l'eau de mer, allant de légèrement saumâtre à hypersaline, en fonction des précipitations, de l'évaporation, de la géomorphologie, de la quantité d'eau douce provenant des rivières et d'autres facteurs. Les lagunes côtières sont présentes dans toutes les régions biogéographiques, bien que les conditions régionales influencent leur caractère. Les deux pressions et menaces les plus largement signalées sur les lagunes côtières sont les modifications de l'état des masses d'eau et la pollution des eaux de surface. Par ailleurs, l'élévation du niveau de la mer liée au changement climatique devrait entraîner la disparition de la moitié des zones humides côtières d'Europe, soit environ 4.500 km<sup>2</sup>.

### Posidonia océanica

Les herbiers à *Posidonia océanica* jouent un rôle central dans le fonctionnement des milieux littoraux de Méditerranée. La Posidonie vit entre la surface et 20-40 m de profondeur. S'agissant d'un végétal photosynthétique, la profondeur maximale à laquelle elle peut se développer dépend de la transparence de l'eau. En Méditerranée, l'herbier de Posidonie joue un rôle que l'on compare souvent à celui de la forêt, en milieu terrestre, mais qui en fait va bien au-delà.

Les herbiers de posidonie sont en fait un véritable « pôle de biodiversité » parce qu'ils sont un refuge pour un quart des espèces de faune et de flore qui vivent dans la Méditerranée et de la zone de reproduction pour de nombreuses espèces de poissons et de crustacés. Ils assurent une forte fonction de protection contre l'érosion des plages, et parce que les prairies peuvent atténuer la force des vagues et parce que les feuilles des bancs morts s'accumulent souvent sur les plages en les protégeant des tempêtes d'automne et d'hiver. Ils produisent également d'énormes quantités de matières organiques qui alimentent la faune présente en son sein. Ils contribuent à la production de l'oxygène dans la mer grâce à la photosynthèse et, grâce au piégeage et à la fixation des sédiments présents dans l'eau, favorisent la transparence de l'eau. Leur présence est un signe de bonne qualité de l'eau, ce qui explique pourquoi ils sont un outil efficace pour la surveillance de la qualité globale de l'eau et des milieux littoraux (Boudouresque C.F., 2008).



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

### Coralligène

Les concrétions coralligènes sont le résultat des activités de construction des algues et des animaux ainsi que des processus d'érosion physique et biologique. Le résultat est une structure très complexe composée de plusieurs micro habitats. Les facteurs environnementaux (c'est-à-dire la lumière, le mouvement de l'eau et les vitesses de sédimentation) peuvent varier dans les parties d'une même concrétion situées très proches les unes des autres. Cette grande hétérogénéité environnementale permet à plusieurs assemblages différents de coexister dans un espace réduit.

Les assemblages de coralligènes et de maërl sont probablement deux des points chauds les plus importants de la diversité des espèces en Méditerranée, avec les herbiers de *Posidonia océanica* (Ballesteros, 2006; équipe BIOMAERL, 2003). L'une des principales menaces pesant sur le coralligène, à part celles liées à la pêche, aux activités de loisirs, à la construction d'infrastructures côtières et à l'urbanisation, est représentée par le réchauffement climatique. La distribution du coralligène est soumise à une combinaison de facteurs biotiques et abiotiques dont les principaux sont la lumière, l'hydrodynamisme, la température, la salinité, le dépôt de sédiments et les interactions biologiques. Ainsi, on s'attend à ce que, si la tendance actuelle du réchauffement globale se poursuit, les coralligènes soient affectés par de nouveaux événements de mortalité au cours des prochaines décennies, en particulier dans les zones où les assemblages de coralligènes sont situés au-dessus du niveau estival de la thermocline (UN Environment / MAP, 2017).

### 3 Le cadre théorique et la base de données

Selon la définition du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) des Nations Unies (2014), le risque est caractérisé comme « le potentiel de conséquences où quelque chose de valeur humaine (y compris les humains eux-mêmes) est en jeu et où le résultat est incertain ». Dans le même temps, le risque est souvent représenté par « la probabilité d'occurrence d'événements ou de tendances dangereux multipliés par les conséquences si ces événements se produisent » (GIEC, 2014). En combinant ces deux définitions, le risque dans ce document est considéré en fonction des dangers, de la vulnérabilité et de l'exposition, comme décrit dans la Figure 1 (GIEC, 2014).

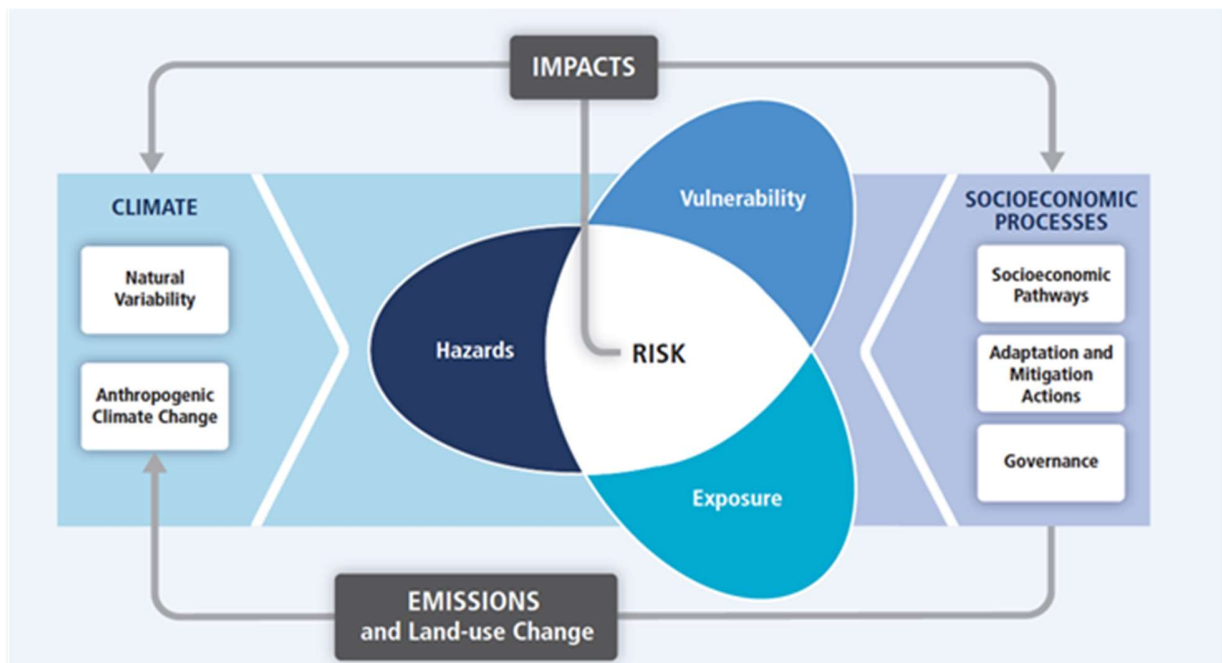


Fig. 2 - Risk as a function of hazards, vulnerability and exposure. Source : SPM of WGII AR5 (GIEC, 2014).

En résumé, le risque ( $R$ ) peut être défini comme une fonction du **Forçage (F)**, **Vulnérabilité (V)**, et **Exposition (E)** :

$$R = f(F, V, E)$$

Plus précisément, la définition de  $F$ ,  $V$  et  $E$  selon le GIEC est donnée ci-dessous.

Forçage	Vulnérabilité	Exposition
<p>L'occurrence potentielle d'un événement ou d'une tendance physique ou d'origine humaine, ou d'un impact physique, pouvant entraîner des pertes de vie, des blessures ou d'autres conséquences pour la santé, ainsi que des dommages sur les biens, les infrastructures, les moyens de subsistance, les services et les ressources environnementales.</p> <p><i>Source : GIEC, 2014b</i></p>	<p>La propension ou prédisposition à être affecté. La vulnérabilité englobe une variété de concepts, y compris la sensibilité ou la vulnérabilité aux dommages et le manque de capacité à faire face et à s'adapter. Le degré de vulnérabilité dépend de la sensibilité face aux événements dommageables et de la capacité d'adaptation face à ceux-ci (la résilience).</p> <p><i>Source : GIEC, 2014b</i></p>	<p>La présence de personnes, de moyens de subsistance, d'espèces ou d'écosystèmes, de services et de ressources environnementales, d'infrastructures ou de biens économiques, sociaux ou culturels dans des lieux susceptibles d'être affectés.</p> <p><i>Source : GIEC, 2014b</i></p>

Le même GIEC explique encore mieux ces concepts dans un schéma spécifique adaptés pour les zones côtières (Fig. 3). Dans ce schéma, il est clair que la partie exposée au risque comprend les composants anthropiques et naturels (côtes, plages, zones humides, coralligènes, aquifères, estuaires et deltas).

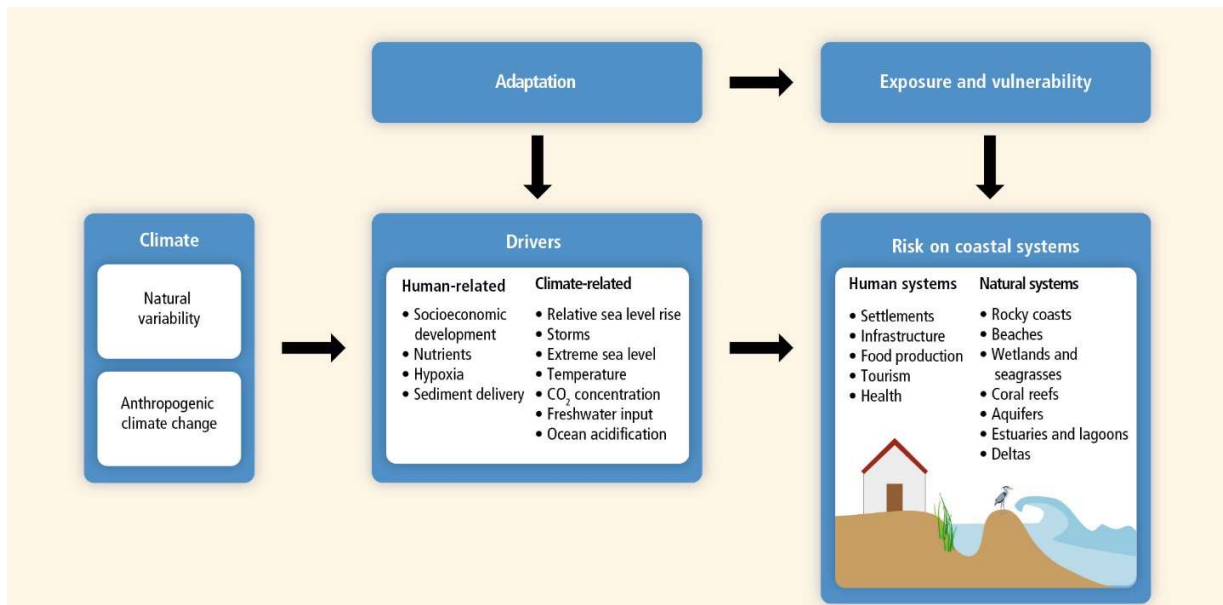


Fig. 3 - Source : Chap. 5 of AR5 WGII (GIEC, 2014)

Les paragraphes suivants présentent les caractéristiques des composantes de risque F, V et E.



### 3.1 Forçage

Les principaux facteurs de pression du Forçage climatique sont les suivants :

- Élévation du niveau de la mer
- Hauteur Significative des vagues
- Précipitations / Sécheresses
- Changement de la température de la surface de la mer
- Augmentation de la salinité
- Acidification de la mer

#### Élévation du niveau de la mer (SLR)

L'élévation du niveau de la mer Méditerranée a augmenté d'environ 30 cm au cours des 1000 dernières années, contre une augmentation trois fois supérieure (soit 90 cm) attendue par le GIEC au cours des 100 prochaines années. L'élévation du niveau moyen de la mer entraîne des risques d'inondation auxquels s'ajoutent d'autres risques secondaires, tels que l'érosion côtière, l'infiltration d'eau salée dans les aquifères côtiers, l'intrusion de coins salins dans les estuaires, la perte de zones humide et la perte ou modification de la biodiversité marine et côtière. Tous ces impacts auront des conséquences importantes sur toutes les activités productives dans les zones côtières. La figure 4 montre l'élévation moyen du niveau de la mer (en mm/an) sur la période 1992-2018 pour la zone couverte par l'accord RAMOGE.

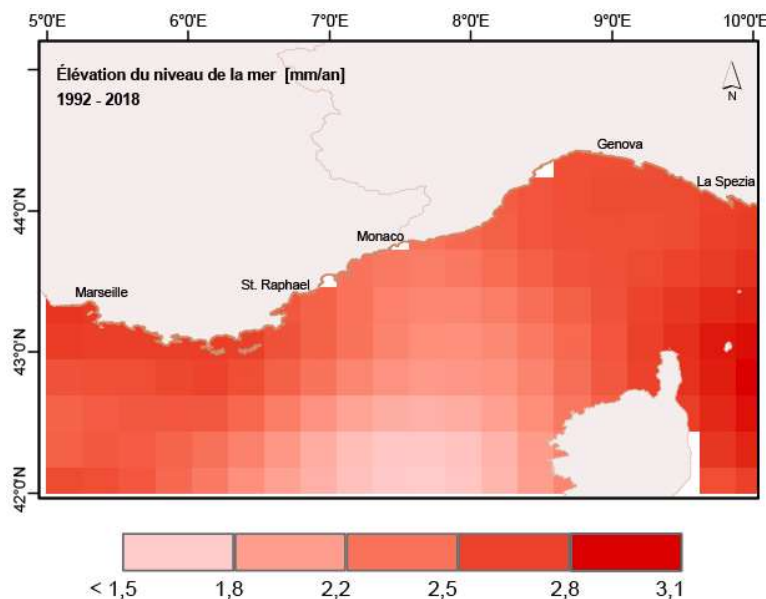


Fig. 4 - Élévation du niveau de la mer. Source : Multimission Sea Level Trend 1992-2018 – AVISO.



### Hauteur Significative des vagues (SWH)

Selon une étude récente, les grandes inondations sur les côtes européennes, qui se produisent actuellement tous les 100 ans, pourraient devenir des événements annuels si la tendance actuelle d'augmentation du CO<sub>2</sub> au niveau mondial se poursuit (Vousdoukas et al, 2017).

La communauté scientifique convient que l'augmentation de la fréquence et de l'intensité de ces événements, considérés aujourd'hui comme exceptionnels, poussera probablement les structures de protection des côtes existantes au-delà de leurs limites de conception, laissant la plupart des zones côtières européennes exposées aux inondations.

On sait que des tempêtes marines, associées à des vents violents, à des vagues fortes et à des courants intensifiés, ainsi qu'à des pluies abondantes et à des inondations soudaines, peuvent endommager les écosystèmes marins et côtiers tels que les herbiers à Posidonia (Gera et al, 2014).

Pour le calcul des valeurs de SWH et Run Up (période de retour), elles sont basées sur un modèle développé par l'Université de Gênes<sup>1</sup>. La figure 5 présente la hauteur significative des vagues mesurées pour une période de retour de 100 années, pour la zone couverte par l'accord RAMOGE.

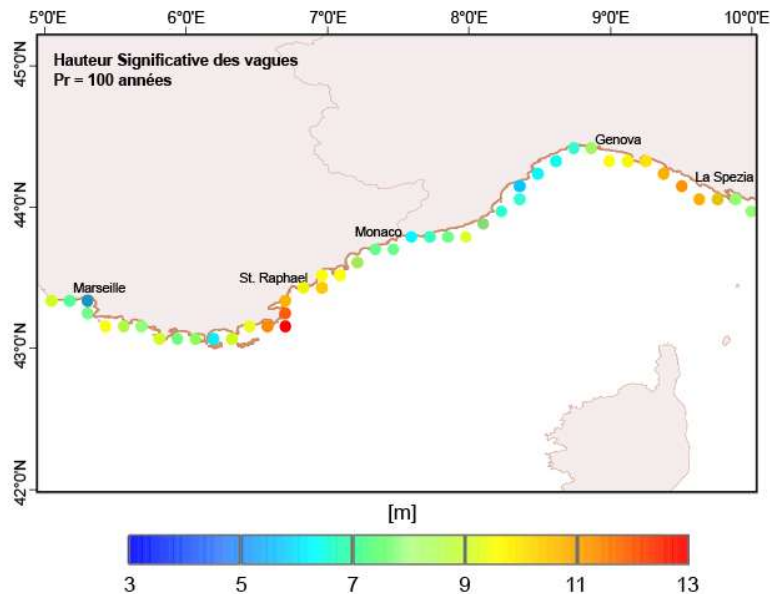


Fig. 5 - Hauteur Significative des vagues mesurées pour une période de retour de 100 années. Source : Université de Gênes, Italie.

<sup>1</sup> Prof. Eng. Giovanni Besio and Eng. Francesco De Leo; DICCA - Department of Civil, Chemical and Environmental Engineering University of Genoa; "Wave hindcast analysis in the RAMOGE Region"; October 2017; 40 p. (Pre-study report financed by Plan Bleu).



### Précipitations (P) et Sécheresses (DRO)

Des recherches récentes<sup>2</sup> ont mis en évidence le rôle du changement climatique dans les tendances observées en matière d'assèchement. Les sécheresses sont des facteurs climatiques importants aggravant l'érosion côtière. En effet, de graves sécheresses entraînent une réduction des eaux de ruissellement vers les deltas et la charge de sédiments associée aux plages.

Les sécheresses devraient s'intensifier en Méditerranée, ce qui constitue une préoccupation majeure pour la pénurie d'eau.

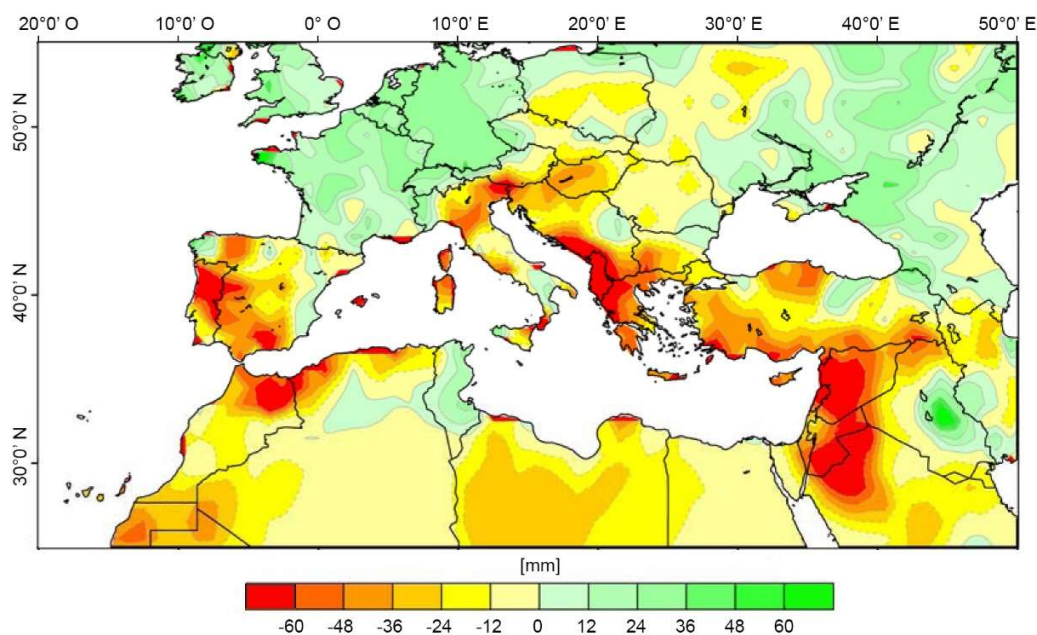


Fig. 6 - Terres autour de la Méditerranée ayant connu des hivers nettement plus secs de 1971 à 2010 que pendant la période de comparaison de 1902 à 2010. Source : NOAA.

<sup>2</sup> B.I. Cook, K.J. Anchukaitis, R. Touchan, Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years, J. Geophys. Res.: Atmos. 121 (2016).

### Changement de la température de la mer (T)

La mer Méditerranée est l'une des régions les plus exposées à la hausse des températures et à la réduction des précipitations et les effets du réchauffement planétaire y apparaissent plus rapidement que dans les océans (Schroeder et al., 2017 ; Alexandrakis G., 2014).

La Méditerranée réagit plus rapidement que les océans au phénomène de réchauffement de la planète, notamment parce que les périodes de remplacement de ses eaux sont relativement plus courtes. En particulier en Méditerranée, l'évaporation est supérieure aux précipitations et aux réserves fluviales, tandis que la température et la salinité augmentent deux fois et demi plus vite que la deuxième moitié du XXème siècle et plus élevées que celles des océans.

La température influence directement sur d'autres paramètres physiques comme la salinité, la saturation des gaz dissous, mais également au niveau biologique sur la répartition des espèces et de l'activité biologique dont dépend la production totale.

La température varie principalement en fonction des saisons et de la profondeur. Ainsi, en hiver la température en mer Méditerranée est homogène sur l'ensemble de la colonne d'eau entre 12 et 14 degrés suivant les conditions climatiques.

En été les couches de surface se réchauffent et la zone de transition thermique, qui marque une frontière entre les eaux chaudes de surface et les eaux froides de profondeur, descend en profondeur (de -20 jusqu'à parfois -50 mètres) et montre un gradient de température de plus en plus marqué (Direction de l'Environnement de Monaco, 2018).

Pour tenir compte de la variation de température susmentionnée et de la présence des biocénoses considérées à différentes profondeurs, il a été décidé de prendre en compte à la fois la température de la surface de la mer et la température à -100 m.

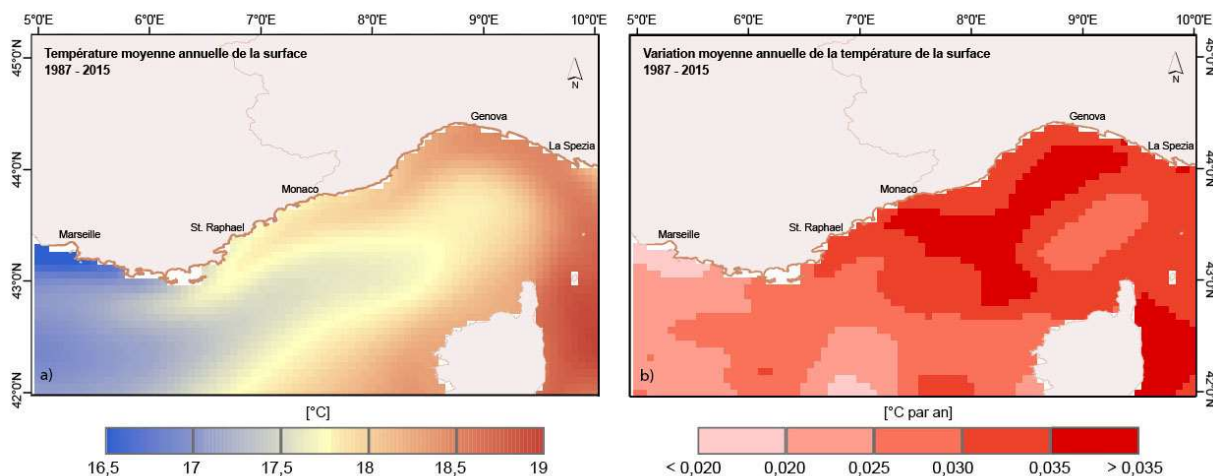


Fig. 7 - a) Température moyenne annuelle de la surface (1987-2015), et b) Variation moyenne annuelle de la température de la surface (1987-2015). Source: Dataset "MEDSEA\_REANALYSIS\_PHYS\_006\_004/sv03-med-ingv-tem-rean-m" produced by Copernicus. Elaboré par MEDSEA.

### Changement de la salinité de la mer (SAL)

L'augmentation de la température de la mer ces dernières années dans la région méditerranéenne a considérablement augmenté l'évaporation et réduit les précipitations, ceci combiné avec la diminution de l'apport d'eau des rivières en raison de la construction de barrages et de réservoirs.

Tout cela se traduit par une augmentation de la salinité (Vargas-Yáñez et al. 2007 ; Borghini et al. 2014). Les eaux profondes de la Méditerranée occidentale sont devenues plus salées et plus chaudes au cours des 40 dernières années, avec des valeurs allant de 0,015 à 0,004°C par décennie (Borghini et al, 2014). L'augmentation de la salinité affecte particulièrement les herbiers à Posidonia. Les effets des phénomènes extrêmes de réchauffement et de stratification sur la communauté coralligène font partie des observations les plus claires des effets biologiques associés au changement climatique (Coma et al., 2009). Comme le montre la figure 8a, la valeur moyenne de la salinité entre 1987 et 2014 dans la zone d'étude varie entre 37,5 et 38 g de sel / kg d'eau de mer (PSU : Unité de Salinité Pratique).

Les sites littoraux montrent généralement une salinité plus faible témoignant des apports telluriques.

Les valeurs plus basses de salinité (<37 PSU) dépendent des forts apports d'eau douce, principalement par la présence de rivières côtières.

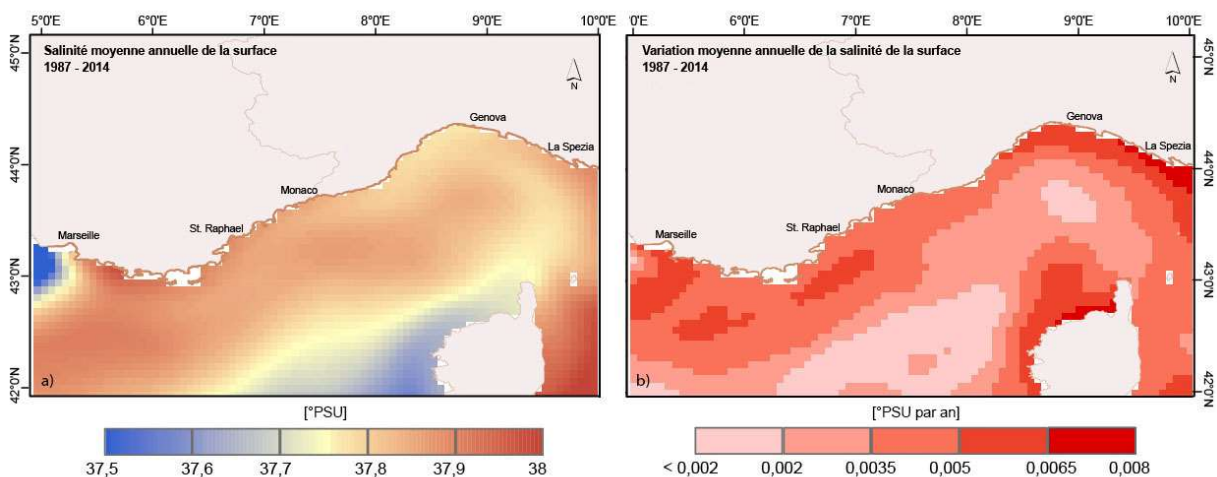


Fig. 8 -a) Température moyenne annuelle de la surface (1987-2014), et b) Variation moyenne annuelle de la température de la surface (1987-2014). Source: Dataset "MEDSEA\_REANALYSIS\_PHYS\_006\_009"/sv03-med-ingv-sal-rean2-m" produced by Copernicus. Elaboré par MEDSEA.



### Acidification (pH)

Les mers sont un puit de carbone (elles absorbent environ 25% des émissions de CO<sub>2</sub> produites chaque année). Les variations du pH à la surface des océans sont également provoquées par le CO<sub>2</sub> d'origine atmosphérique.

L'augmentation du CO<sub>2</sub> atmosphérique (principalement d'origine anthropique) induit une acidification des océans (diminution progressive du pH). Ainsi, il a été estimé que du XVIII<sup>ème</sup> siècle à nos jours, le pH des eaux superficielles des océans a diminué de 8,25 à 8,14. Sur la base des prévisions du GIEC, l'augmentation actuelle du taux de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère devrait encore diminuer le pH des eaux du globe de 8,14 à 7,8 d'ici la fin du siècle (Direction de l'Environnement de Monaco, 2018).

L'acidification marine est une menace pour les espèces et les écosystèmes, en particulier ceux composés de calcaire utile à leur squelette (par exemple, récifs coralliens, coralligènes, coraux profonds, etc.) (Stems et Teixido, 2016). L'acidification varie entre -0,055 et -0,156 unité de pH en mer Méditerranée.

Aucune carte indiquant la distribution géographique du pH n'étant disponible pour l'ensemble de la zone de RAMOGE, la variable pH n'a été utilisée que pour le calcul du Forçage dans les trois zones pilotes, en utilisant des données de l'ARPAL de la Région Ligurie, de la Direction de l'Environnement de la Principauté de Monaco et du Service d'Observation en Milieu Littoral de la France.

### Matrice d'impact

Après avoir analysé les facteurs climatiques, nous avons procédé à la construction d'une matrice d'impact (Tab. 1), basée sur la littérature scientifique, pour évaluer l'incidence des facteurs déterminants sur chacun des cinq écosystèmes analysés.

	FORÇAGE					
	SLR	SWH	DRO	T	SAL	pH
Rivages sablonneux	High	High	Medium	Low	Low	Low
Forêts côtières	High	Low	Medium	Low	High	Medium
Zones Humides	High	Medium	High	Medium	Medium	Medium
Posidonie	Low	High	Low	High	Low	Medium
Coralligène	Low	Medium	Low	High	Low	High

Tab. 1 - Matrice d'impact. Source : Elaborée par MEDSEA sur des données de la littérature.



### 3.2 Vulnérabilité

Les facteurs analysés pour définir le niveau de vulnérabilité de la zone sont les suivants :

- Bathymétrie et Élévation
- Pente côtière
- Zones protégées (Parcs, Réserves, AMP, etc.)
- Géomorphologie du littoral
- Rugosité (Coefficient de Manning)
- Modification historique du littoral
- Distance de la côte

Il n'a pas été possible de recueillir les données pour l'ensemble de la zone d'étude pour certaines des variables prévues, en particulier : la pente côtière et la régulation du débit des rivières.

### 3.3 Exposition

En ce qui concerne la cohérence des écosystèmes de la partie côtière, les données et les nomenclatures d'utilisation des sols de la Corine Land Cover de 2006 et 2012 ont été utilisées, comme indiqué dans le tableau 2.

ECOSYSTEMES COTIERS	CATEGORIES	CLC CODE
Rivages sablonneux	Plages, dunes et sables	3.3.1
Cours d'eau	Cours et voies d'eau	5.1.1
	Plans d'eau Estuaires	5.1.2
		5.2.2
Forêts côtières	Forêts de feuillus	3.1.1
	Forêts de conifères	3.1.2
	Forêts mélangées	3.1.3
	Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée	3.2
Zones humides	Marais maritimes	4.2.1
	Zones intertidales	4.2.3
	Lagunes littorales	5.2.1

Tab. 2 - Catégories de couverture terrestre considérées. Source : Corine Land Cover, 2012.



Grâce à ARCGIS, il a été possible de définir les surfaces couvertes par les différents écosystèmes dans les bandes côtières de 100, 300 et 900 mètres, comme indiquées par la figure 9.

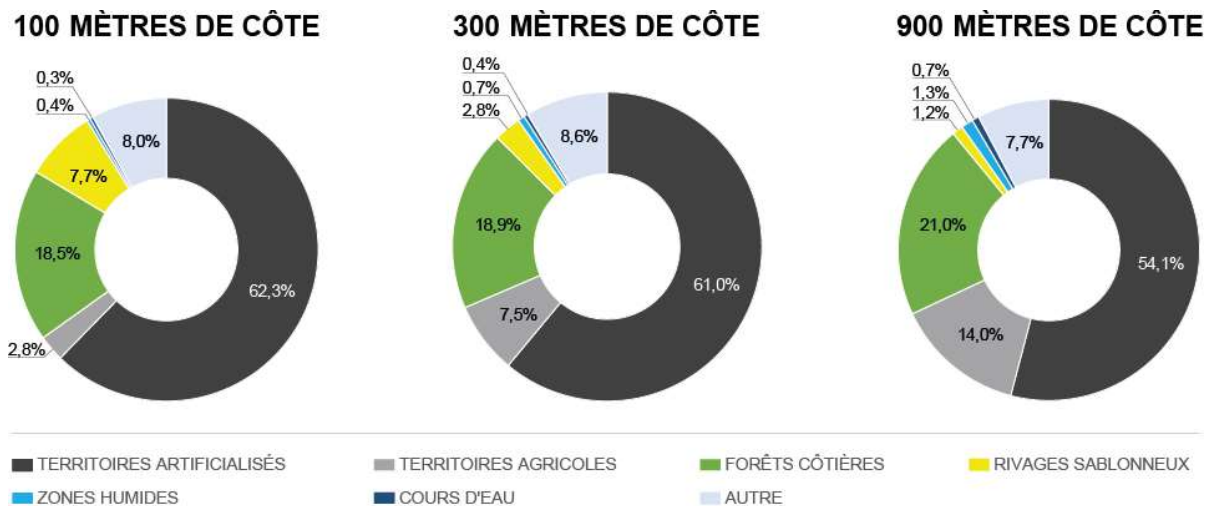


Fig. 9 - Répartition des différents écosystèmes côtiers dans les zones de 100 mètres, 300 mètres et 900 mètres de RAMOGE. Source : Traitement des données de Corine Land Cover (2012).

Le groupe "autre" est composé par les catégories d'usage de sol suivantes : Pelouses et pâturages naturels ; Roches nues ; Végétation clairsemée et Zones incendiées.

En ce qui concerne les écosystèmes marins, les habitats de posidonie et de coralligènes ont été analysés à partir des données fournies par : la plateforme cartographique "Medtrix.fr - DONIA EXPERT: Cartographie détaillée des habitats marins" (AERM & C / Andromède Océanologie - Medtrix.fr, 2018) pour la région PACA, la base des données "Biocénosi" fourni par la Direction de l'environnement de Monaco et la base des données "Atlas des habitats marins sc. 1: 10000 - 2009 "de la région de la Ligurie.

Medtrix.fr - DONIA EXPERT : Cartographie détaillée des habitats marins	Dataset Biocénoses - Direction de l'Environnement de Monaco	Atlante degli habitat marini 1:10000 (2009) Ligurie
Biocénoses de l'Herbier à Posidonia océanica	Herbiers à Posidonia océanica	Herbiers à Posidonia océanica (principalement sur Matte)
Biocénoses coralligène	Fonds durs et roches - biocénose du coralligène	Posidonia océanica entre et sur un rocher
		Formations à mosaïc de Posidonie vivante et Matte morte
		Formation mixte de Posidonia océanica et Caulerpa taxifolia
		Peuplements à coralligène

Tab. 3 - Catégories d'habitats sélectionnés dans chaque base de données.



### 3.4 Base de données

Les variables utilisées pour l'écosystème marin et pour l'écosystème côtier et les sources connexes sont présentées dans les tableaux 4 et 5.

VARIABLES ÉCOSYSTÈME COTIER		
Forçage	Unité	Dataset et source
Élévation du niveau de la mer (SLR)	mm	AVISO – Multi-Mission Sea Level Trends (Period: Jan 1993-May 2017) (Consulté Juillet 2018).
Hauteur Significative des vagues (SWH)	m	Données de l'Université de Gênes
Sécheresses (DRO)	mm	NOAA - <a href="http://www.noaanews.noaa.gov/stories2011/20111027_drought.html">http://www.noaanews.noaa.gov/stories2011/20111027_drought.html</a> (Consulté Janvier 2018).
Moyenne annuelle de précipitations maximales quotidienne (P)	mm	Hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm). Source : Météo France Recueil de données 2018. Source : Direction de l'Environnement de la Principauté de Monaco Hauteur quotidienne maximale de précipitations (mm). 50 ans. Calcul de distribution GEV Source : ARPAL "Atlante climatico della Liguria"
Vulnérabilité	Unité	Dataset et source
Géomorphologie (L)		Elaboré par MEDSEA sur Google Earth data, cartes géologiques et morphologiques
Élévation (DTM)	m	SRTM 90m Database - Consortium for Spatial Information (Consulté 18.04.16)
Rugosité (ROU)	n	Corine Land Cover (2006, 2012) et "Manuale di Ingegneria Costiera, 1976" - Elaboré par MEDSEA
Modification historique du littoral (HSC)	%	Elaboré par MEDSEA
Distance de la côte (D)	m	Elaboré par MEDSEA
Zones protégées (Parcs, Réserves, AMP, etc.) (NAT)	km <sup>2</sup>	Natura 2000, Données MAPAMED (MedPAN, 2017) Données de la Direction de l'Environnement de Monaco
Exposition	Unité	Dataset et source
Présence de Rivages sablonneux, Cours d'eau, Forêts côtières		Corine Land Cover (2012)

Tab. 4 - Variables utilisées pour calculer le Risque dans les écosystèmes côtiers.

VARIABLES ÉCOSYSTÈME MARIN		
Forçage	Unité	Dataset et source
Élévation du niveau de la mer (SLR)	mm/an	"AVISO – Multi-Mission Sea Level Trends (Jan 1993-Mai 2017) " (Consulté en juillet 2018).
Hauteur Significative des vagues (SWH)	m	Données de l'Université de Gênes



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

Changement de la température de la mer (T)	°C/an	Dataset Copernicus
Changement de la salinité de la mer (SAL)	PSU	Dataset Copernicus
<b>Vulnérabilité</b>	<b>Unité</b>	<b>Dataset et source</b>
Bathymétrie (B)	m	<a href="http://diffusion.shom.fr/pro/amenagement/altimetrie-littorale/litto3d-paca-2015.html">http://diffusion.shom.fr/pro/amenagement/altimetrie-littorale/litto3d-paca-2015.html</a> Données de la Direction de l'Environnement de Monaco Données "Bathymétrie " de la Région de la Ligurie
Etat des écosystèmes (HEA)		"Cartographie détaillée des habitats marins - DONIA EXPERT" Medtrix.fr; Données de la Direction de l'Environnement de Monaco "Atlante degli habitat marini sc. 1:10000 – 2009" de la Région de la Ligurie
Zones protégées (Parcs, Réserves, AMP, etc.) (NAT)	km <sup>2</sup>	Données MAPAMED (MedPAN, 2017), Natura 2000 End 2017 (EEA, 2018)
<b>Exposition</b>	<b>Unité</b>	<b>Dataset et source</b>
Biocénoses marines de Posidonia o de Coralligène		"Cartographie détaillée des habitats marins - DONIA EXPERT" Medtrix.fr; Données de la Direction de l'Environnement de Monaco "Atlante degli habitat marini sc. 1:10000 – 2009" de la Région de la Ligurie

Tab. 5 - Variables utilisées pour calculer le Risque dans les écosystèmes marins.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

### 3.5 La méthodologie MEDSEA

Bien que l'accord RAMOGE ne soit pas ciblé sur l'étude des « changements climatiques », nous proposons de développer un « Indice RAMOGE » ainsi que des cartes intégrées qui valorisent les données existantes issues des travaux réalisés par la région Ligure dans le cadre de la Directive 2007/60/CE dite « Inondation » et d'homogénéiser les outils existants entre les trois pays de la zone RAMOGE. La partie innovatrice de la méthode consistera dans l'intégration de l'évaluation de la vulnérabilité et les risques associés à la perte des écosystèmes due aux aléas côtiers.

Dans cet objectif, nous proposons l'application d'un indice de risques côtiers multi-échelle appliqué à l'échelle locale comme développé par Satta et al. (2016). L'indice combine plusieurs variables, représentant différents aspects du risque, grâce à trois sous-indices (vulnérabilité, forçage et exposition), de telle sorte que les risques des "points chauds" ainsi que les zones ayant un risque relativement faible émergent de l'intégration et de la combinaison de ces variables.

Le terme « risque » est utilisé pour décrire les pertes potentielles résultant du danger futur prévu. Ce terme fait référence aux pertes attendues lié à un danger particulier pour un élément spécifique à risque dans une période future donnée. La perte peut être estimée en termes de vies humaines, de bâtiments détruits ou en termes financiers (UNDRO, 1979). Cette étude se concentre sur les écosystèmes marins côtiers (à savoir : les services écosystémiques perdus totalement ou les écosystèmes ayant vu leur fonctionnement réduits) résultant des impacts de changements climatiques.

Cette méthode permet donc de définir de manière scientifiquement rationnelle une « Zone d'Aléa Côtier » dans laquelle les risques de perte d'écosystèmes liés au forçage climatique sont calculés. La « Zone d'Aléa Côtier » sera donc calculée en tenant compte des dernières projections du GIEC concernant la hausse du niveau des mers, du modèle HINDCAST et sur la base de la méthodologie utilisée par la région Ligurie (base de littérature scientifique, Hills e Mader, 1997).

La méthode prévoit les étapes suivantes :

- Définition de la Zone d'Aléa (ZdA)
- Calcul des sous-indices (F, V, E) et R appliqués à la ZdA
- Evaluation des coûts associés au risque de perte d'écosystème marins et côtiers

### 3.6 Délimitation de la zone d'Aléa Côtier et de la Zone d'Aléa Marin

#### 3.6.1 Zone d'Aléa Côtier

La Zone d'Aléa Côtier (ZAC) met en évidence les zones potentiellement menacées par les risques côtiers dans le pire des scénarios potentiel des changements climatiques à l'horizon 2100. Dans le travail de Satta et al (2016), la ZAC est définie comme la zone côtière touchée par la survenance de l'effet des aléas naturels, qui causent des dommages sur des bâtiments et des infrastructures ou des pertes d'écosystèmes naturels. Les inondations côtières sont rarement causées par un seul facteur mais bien dues à une combinaison de facteurs tels que le niveau de la marée, les ondes de tempête et les conditions d'ondes (qui dans certains cas, sont exacerbées les crues des rivières). Ces facteurs sont généralement corrélés, mais un niveau extrême de la marée haute coïncide très rarement avec des ondes de tempête élevées et des conditions de vagues élevées. Avoir une appréciation ou une compréhension de la façon dont ces différentes forces motrices peuvent se combiner dans un sens statistique est important pour l'évaluation des inondations côtières. Pour l'identification de la ZAC, nous devons tenir compte du niveau d'eau maximal sur le littoral résultant des conditions de vagues extrêmes (Période de retour de 100 ans) et de la montée



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

la plus extrême du niveau de la mer. La pénétration à l'intérieur des terres de ce niveau d'eau maximal est calculée par la formule de Hills et Mader (1997). Nous devons définir la hauteur totale de l'eau (TWH) dans des conditions extrêmes. Ainsi, nous proposons la formule suivante (Satta, 2014) :

$$\text{TWH} = \text{SLR100} + \text{SS} + \text{RU} + \text{FI} + \text{U}$$

Où

**SLR100 (Sea Level Rise)** = Elévation globale du niveau de la mer d'ici 2100 (Source : GIEC, 2014) = **1 m**

**SS (Storm Surges)** = Les ondes de tempête mesurées pour une période de retour de 100 années (Source: Mappatura della pericolosità da inondazione marina nelle aree costiere della regione Liguria, 2014) = **0,5 m**

**RU (Run Up)** = Vague Run Up est de 70% de hauteur significative des vagues. (Source : Données de l'Université de Gênes SWH. Période de retour = 100 ans, model of Stockdon et al.,2006)

Les valeurs de RU varient entre 1,4 a 3,5 m

**FI (Freshwater Input)**, c'est la hauteur des précipitations, lors d'une inondation extrême, qui peuvent causer une augmentation des débits des rivières vers l'intérieur des terres. Le paramètre FI mesure la hauteur des précipitations maximum par jour sur une période de 50 ans (Source : Météo France, Direction de l'Environnement de Monaco et ARPAL-Ligurie).

Les valeurs de FI varient entre 120 et 360 mm.

**U** = facteur d'incertitude équivalent à 20%.

Les valeurs de TWH obtenues varient entre 4,4m et 6m pour la zone RAMOGE. Nous utilisons la formule de Pignatelli suivante pour calculer le  $X_{\max}$ .

$$X_{\max} = \frac{TWH^{1,33}}{n^2} * k$$

$K$  = coefficient égal à 0,06 pour les inondations marines ;  $n$  = coefficient de rugosité.

$$79\text{m} < X_{\max} < 3400\text{m}$$

### 3.6.2 Zone d'Aléa Marin

En ce qui concerne la délimitation de la Zone d'Aléa Marin (ZAM), nous avons plutôt commencé par une analyse de la littérature scientifique sur la variation de l'intensité des effets des facteurs climatiques en fonction de la profondeur du fond. Il est apparu que l'effet des tempêtes diminuait avec la profondeur croissante et perdait sa pertinence en dessous de 50 m. Les recherches récentes (Sanchez-Vidal et al., 2012) sur des substrats sablonneux ont observé qu'au moins 20% des herbiers de Posidonia océanica, à des profondeurs inférieures à 10 m, sont sérieusement endommagés et détruits. Les effets de l'augmentation du niveau de la mer ne sont pas pertinents pour les écosystèmes marins alors que la température et la salinité jouent un rôle fondamental. Les deux paramètres varient en fonction de la profondeur et sont spécifiques au site. Des phénomènes terrestres tels que le delta d'une rivière influent ces deux paramètres à l'échelle locale. En croisant ces valeurs avec la présence de Posidonie et de Coralligène dans la zone en question (de 3 mètres de profondeur à 35 mètres pour la Posidonie et de 20 à



100 mètres pour le Coralligène), il a été jugé approprié de considérer la ligne bathymétrique de 100 mètres comme étant la limite maximale de la zone de risque marin.

### 3.7 Calcul du risque sur la zone RAMOGE

Les variables ont été définies à partir des sources citées dans les tableaux 6 et 7. Dans le même tableau, sont indiquées les pondérations choisies pour chaque variable.

VARIABLES ÉCOSYSTÈME COTIER								
Forçage	Unité	1	2	3	4	5	Poids	
Élévation du niveau de la mer (SLR)	mm/an	1.9 - 2.1	2.1 - 2.3	2.3 - 2.5	2.7 - 2.9	2.9 - 3.1	30%	
Hauteur Significative des vagues (SWH)		<4	4-6	6.01-8	8.01-10	>10	30%	
Sécheresses (DRO)	mm	> 36	36 -12	11 -- -12	-13 -- -36	< -36	20%	
Moyenne annuelle de précipitations maximales quotidiennes (P)	mm	120 - 168	169 - 216	217 - 264	265 - 312	313 - 360	20%	
Vulnérabilité	Unité	1	2	3	4	5	Poids	
Géomorphologie (L)		Roches Dures	Roches Tendres	Front Mer artificiel	Deltas, estuaires et dépôts de plage plane	Plages sablonneuses et plages de galets	20%	
Élévation (DTM)	m	6 - 4,81	4,8 - 3,6 1	3,6 - 2,41	2,40 - 1,21	< 1,2	20%	
Rugosité (ROU)	n	> 0,06	0,06 - 0,04	0,04 - 0,03	0,03-0,02	< 0,02	15%	
Modification historique du littoral (HSC)	%	>30% (accrétion)	30% -10% (accrétion)	10% -- -10% (stable)	-10% -- -30% (érosion)	< -30% (érosion)	15%	
Distance de la côte (D)	m	865 - 440	440 - 220	220 - 100	100 - 40	< 40	15%	
Zones protégées (NAT)	km <sup>2</sup>			présence d'une zone protégée		absence de zone protégée	15%	
Exposition	Unité	1	2	3	4	5	Poids	
Présence de Rivages sablonneux, Cours d'eau, Forêts côtières		présence						100%

Tab. 6 - Scores et pondérations assignées pour les variables de risque côtier.



VARIABLES ÉCOSYSTÈME MARIN							
Forçage	Unité	1	2	3	4	5	Poids
Élévation du niveau de la mer (SLR)	cm	1.5 - 1.8	1.81 - 2.2	2.21 - 2.5	2.51 - 2.8	2.81 - 3.1	25%
Hauteur Significative des vagues (SWH)	m	<4	4 - 6	6,01 - 8	8,01 - 10	>10	25%
Changement de la température de la mer (T <sub>0</sub> )	° C / an	0.015 - 0.02	0.02 - 0.025	0.025 - 0.03	0.031 - 0.035	0.036-0.039	12,5%
Changement de la température de la mer (T <sub>-100</sub> )	° C / an	< 0.04	0.004 -0.012	0.012 - 0.02	0.02 - 0.028	0.028 - 0.035	12,5%
Changement de la salinité de la mer (SAL <sub>0</sub> )	PSU/ an	< 0.001	0.001 - 0.003	0.003 - 0.005	0.005 - 0.007	> 0.007	12,5%
Changement de la salinité de la mer (SAL <sub>-100</sub> )	PSU/ an	<0.005	0.005 - 0.0025	0.0025 - 0.005	0.005 - 0.0075	0.0075 - 0.01	12,5%
Vulnérabilité	Unité	1	2	3	4	5	Poids
Bathymétrie (B)	m	100 - 50	50 - 30	30 - 20	20 - 10	10 - 0	35%
Etat des écosystèmes (HEA)	Outres zones		Buffer zone de 40m de la matte morte	Buffer zone de 30m de la matte morte	Buffer Zone de 20m de la matte morte	Buffer zone de 10m de la matte morte	35%
Zones protégées (NAT)	km <sup>2</sup>	/		Présence d'une zone protégée		Absence de zone protégée	30%
Exposition	Unité	1	2	3	4	5	Poids
Biocénoses marines de Posidonia o de Coralligène	présence						100%

Tab. 7 - Scores et pondérations assignées pour les variables de risque marin. T<sub>0</sub> et SAL<sub>0</sub> correspondent à la température de surface et à la salinité, tandis que T<sub>-100</sub> et SAL<sub>-100</sub> correspondent à la température et à la salinité à une profondeur de 100 m.

L'application de l'indice de risque à la zone marine et côtière RAMOGE a conduit à un classement du risque relatif de la zone définie pour l'étude, par rapport aux risques potentiels générés et / ou exacerbés par le forçage climatique et non-climatique. La carte locale du risque permet de visualiser le classement qualitatif des risques. Un score (de 1 à 5) et un poids ont été assignés à toutes les variables.

En ce qui concerne les valeurs de score à attribuer à la variable Exposition, puisqu'il n'a pas été possible de définir des sous-catégories qualitatives pour chaque écosystème, ni d'effectuer une classification relative entre les différents écosystèmes en fonction de leur valeur environnementale, la valeur 1 a été attribuée à toutes les zones couvertes par l'un des cinq écosystèmes.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

Les formules suivantes ont été utilisées pour le calcul :

$$F = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i W_i)}{(\sum_{i=1}^n W_i)} \quad (1)$$

$$V = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i W_i)}{(\sum_{i=1}^n W_i)} \quad (2)$$

Où :

$n$  = nombre de variables;

$x_i$  = scores liés à la variable  $i$ ;

$W_i$  = poids lié à la variable  $i$ ;

Les équations, avec des variables pondérées, ont été appliquées à chaque cellule (10m x 10m) de la zone d'aléa côtier et de la zone d'aléa marin.

Afin de convertir les sous-indices en une même échelle standard allant de 0 à 1 et de faciliter l'analyse des valeurs, une procédure de normalisation a été appliquée à la variable  $x_i$  comme suit :

$$F' = \frac{(\sum_{i=1}^n x'_i W_i)}{(\sum_{i=1}^n W_i)} \quad (3)$$

$$V' = \frac{(\sum_{i=1}^n x'_i W_i)}{(\sum_{i=1}^n W_i)} \quad (4)$$

Où le sous-indice normalisé varie entre 0 et 1;  $x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$

En considérant que  $x_{min}$ ,  $x_{max}$  and  $\sum_{i=1}^n W_i = 1$ ,

L'équation devient :

$$F' = \frac{(\sum_{a=1}^{n_F} x_a W_a) - 1}{4} \quad (5)$$

$$V' = \frac{(\sum_{b=1}^{n_V} x_b W_b) - 1}{4} \quad (6)$$

Où :

$F'$  et  $V'$  sont les sous-indices côtiers normalisés ;  $n_F$  = nombre de variables  $F$ ;  $n_V$  = nombre de variables  $V$ ;

$W_a$  = poids associé aux variables  $F$ ;  $W_b$  = poids associé aux variables  $V$ .

Nos sous-indices ont été calculés comme suit :

**FORÇAGE CÔTIER**

$$F_C = \frac{(SLR*0,3+SWH*0,3+DRO*0,20+P*0,20)-1}{4} \quad (7)$$

**VULNÉRABILITÉ CÔTIÈRE**

$$V_C = \frac{(L*0,2+DTM*0,2+ROU*0,15+H *0,15+D*0,15+N *0,15)-1}{4} \quad (8)$$



### FORÇAGE MARIN

$$F_M = \frac{(SLR*0,25+SWH*0,25+T_0*0,125+T_{-100}*0,125+S_0*0,125+S_{-100}*0,125)-1}{4} \quad (9)$$

### VULNÉRABILITÉ MARINE

$$V_M = \frac{(B*0,35+HE*0,35+NAT*0,3)-1}{4} \quad (10)$$

Les cartes obtenues pour les sous-indices et pour les risques sont représentées dans les figures 10 et 11. La formule utilisée pour modéliser le risque est dérivée de Satta (2014) et les hypothèses suivantes ont été faites pour modéliser le risque est la

- Première hypothèse : les trois facteurs expliquant le risque devraient se multiplier. Cela a été introduit parce que, si le forçage est nul, le risque est nul : 0 (forçage) x exposition x vulnérabilité = 0 (risque)
- Deuxième hypothèse : Le risque est également nul si aucun écosystème n'existe dans une zone exposée au forçage (exposition = 0), si les écosystèmes ne sont pas vulnérables (vulnérabilité = 0).

L'équation suivant a été appliquée :

$$R = F \times V \times E$$

Où :

**R** est le risque.

**F** est le forçage et dépend de la fréquence et de la force d'un impact donné.

**V** est la vulnérabilité et dépend du contexte géomorphologique des écosystèmes et de la présence d'aires protégées,

**E** est la surface des écosystèmes présents dans une zone exposée donnée.

Comme expliqué au paragraphe 3.7, la valeur de E étant considérée comme constante et égale à 1, la formule de risque est donc fonction de F et de V.

La valeur de risque qui en résulte détermine la probabilité d'occurrence de la perte de fonctionnement de l'écosystème (nombre compris entre 0 et 1).

Les formules suivantes ont été utilisées pour le calcul du risque côtier et marin :

$$R_c = F_c \times V_c \times E_c \quad (11)$$

$$R_m = F_m \times V_m \times E_m \quad (12)$$

Afin de créer les cartes, les variables ont été géoréférencées à l'aide de procédures différentes en fonction du type de format de données. Les valeurs de DTM, T, S et SLR sont collectées directement à partir de images raster à l'aide d'outils SIG permettant la sélection et l'extraction d'un sous-ensemble de cellules en fonction de leur localisation spatiale. Ensuite, les scores définis dans les tableaux 6 et 7, sont attribués directement aux cellules de chaque image raster à l'aide d'un outil SIG de reclassification. Pour toutes les autres variables, les scores ont été attribués à chaque élément vectoriel puis chaque variable a été convertie en un raster de 10 x 10 m.

Afin de réduire au minimum les erreurs dues à une résolution différente des images, l'extension spatiale de chaque raster est adaptée à la grid Habitat. Les sous-indices **F<sub>c</sub>**, **V<sub>c</sub>**, **F<sub>m</sub>** et **V<sub>m</sub>** ont été calculés en appliquant les équations (7), (8), (9) et (10) à l'aide d'un outil de calcul raster SIG, qui permet d'effectuer des opérations



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

entre pixels et de générer un raster. Enfin, les équations (11) et (12) ont été appliquées pour calculer les deux cartes de risque en utilisant à nouveau l'outil de calculateur SIG.

Pour permettre une interprétation immédiate des scores affichés sur les cartes, les valeurs de chaque sous-indice ont été classées en cinq sous-classes qualitatives (« extrêmement élevé, élevé, moyen, faible et extrêmement faible ») Selon la classification « Natural Breaks (Jenks) », largement utilisée dans les logiciels SIG. Pour obtenir des cartes bien lisibles dans le rapport, une version à résolution réduite de chaque raster est générée à l'aide de la fonction SIG « Agreggate ».

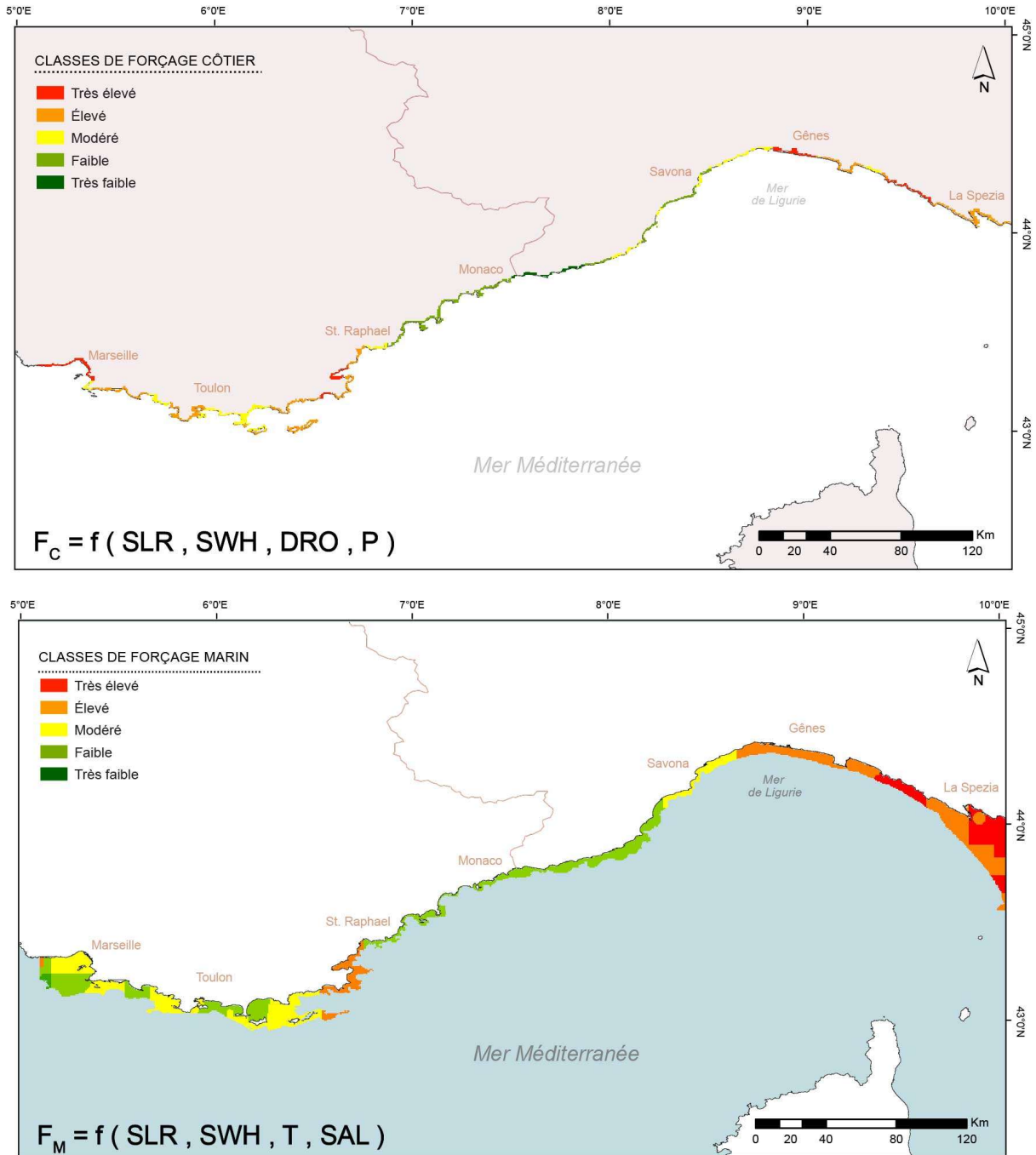


Fig. 10 - Cartes de Forçage côtier et marin.

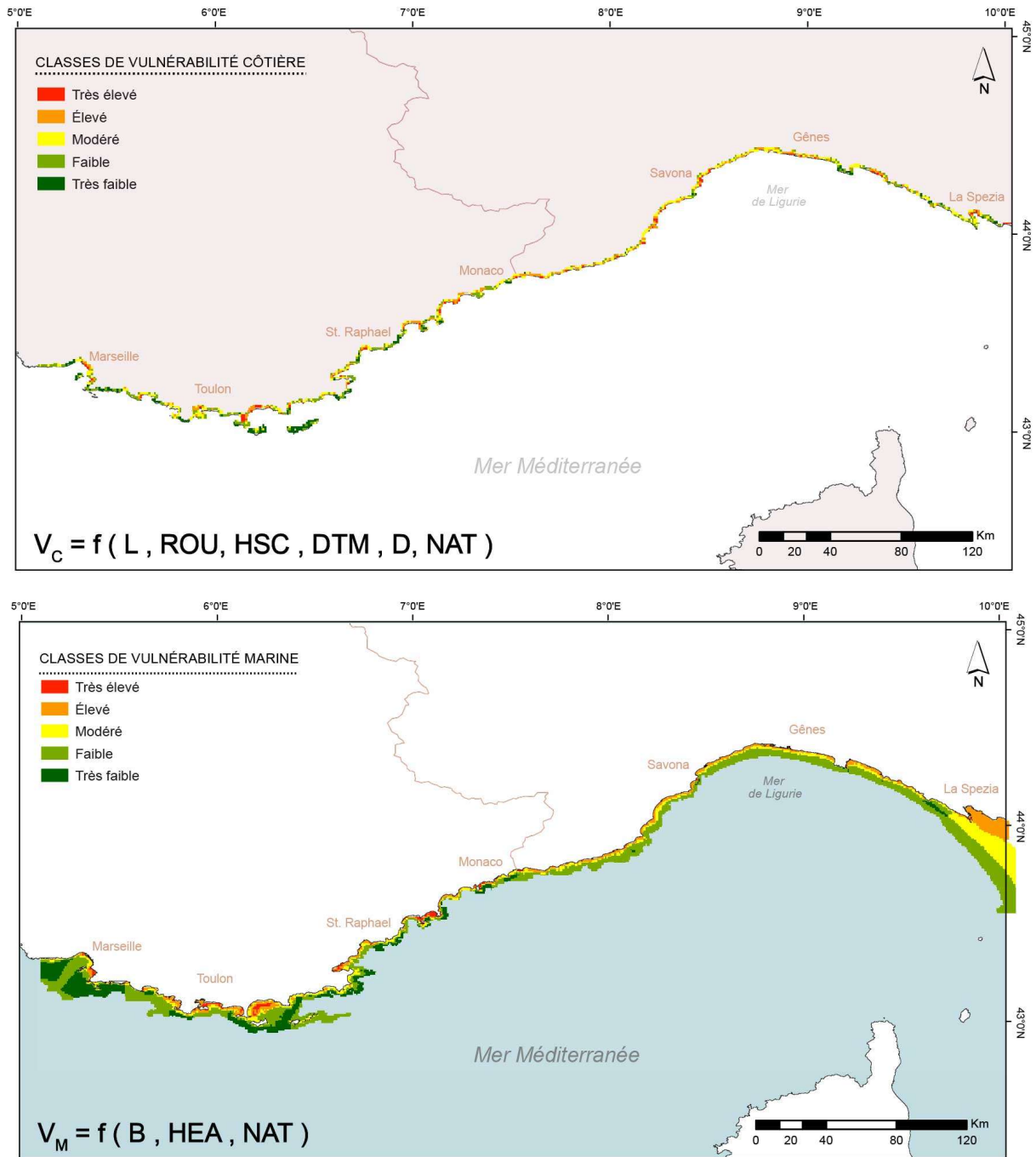


Fig. 11 - Cartes de la Vulnérabilité côtière et marine.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

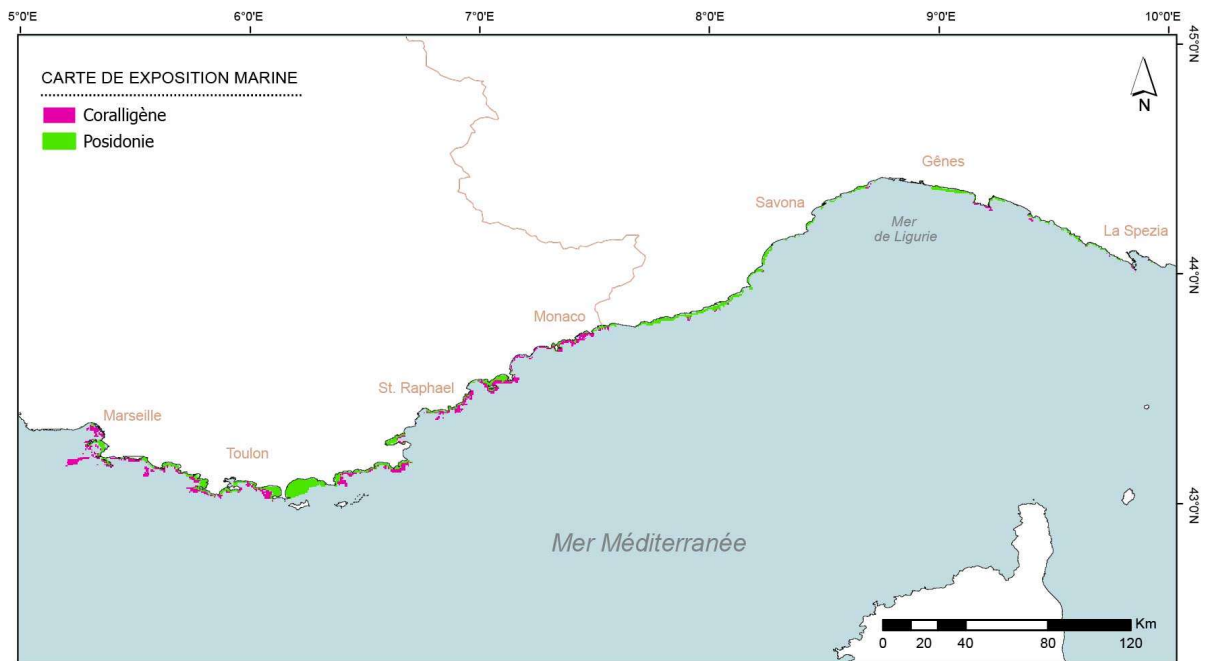
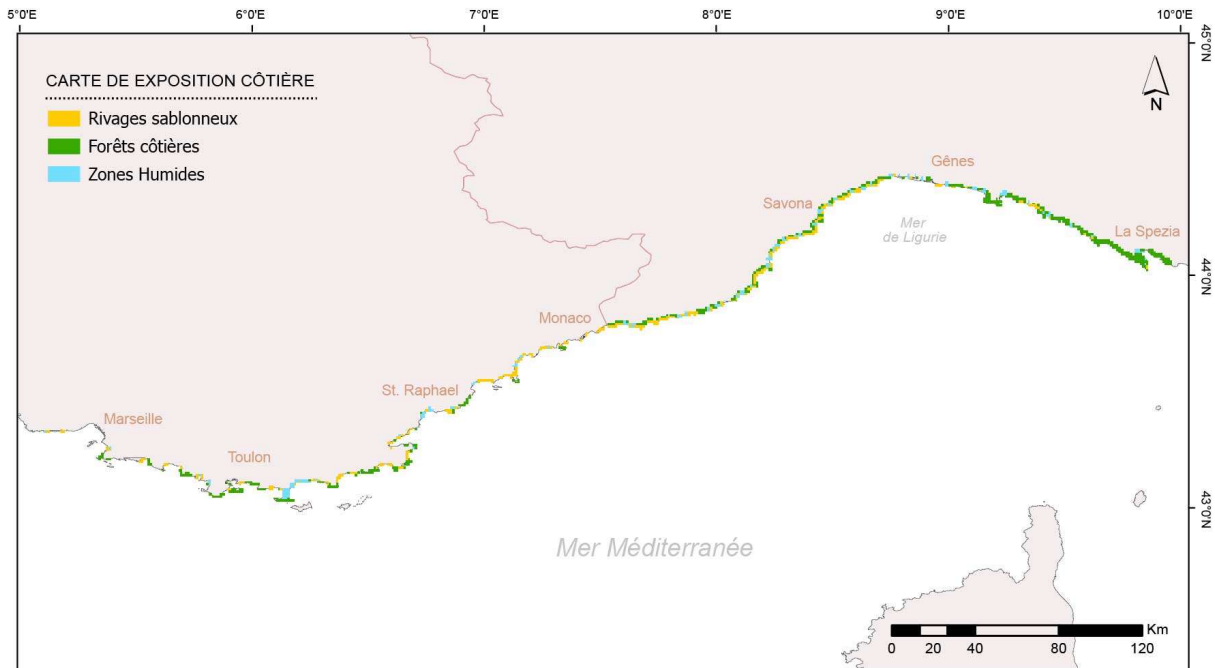


Fig. 12 - Cartes de l'Exposition côtière et marine.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

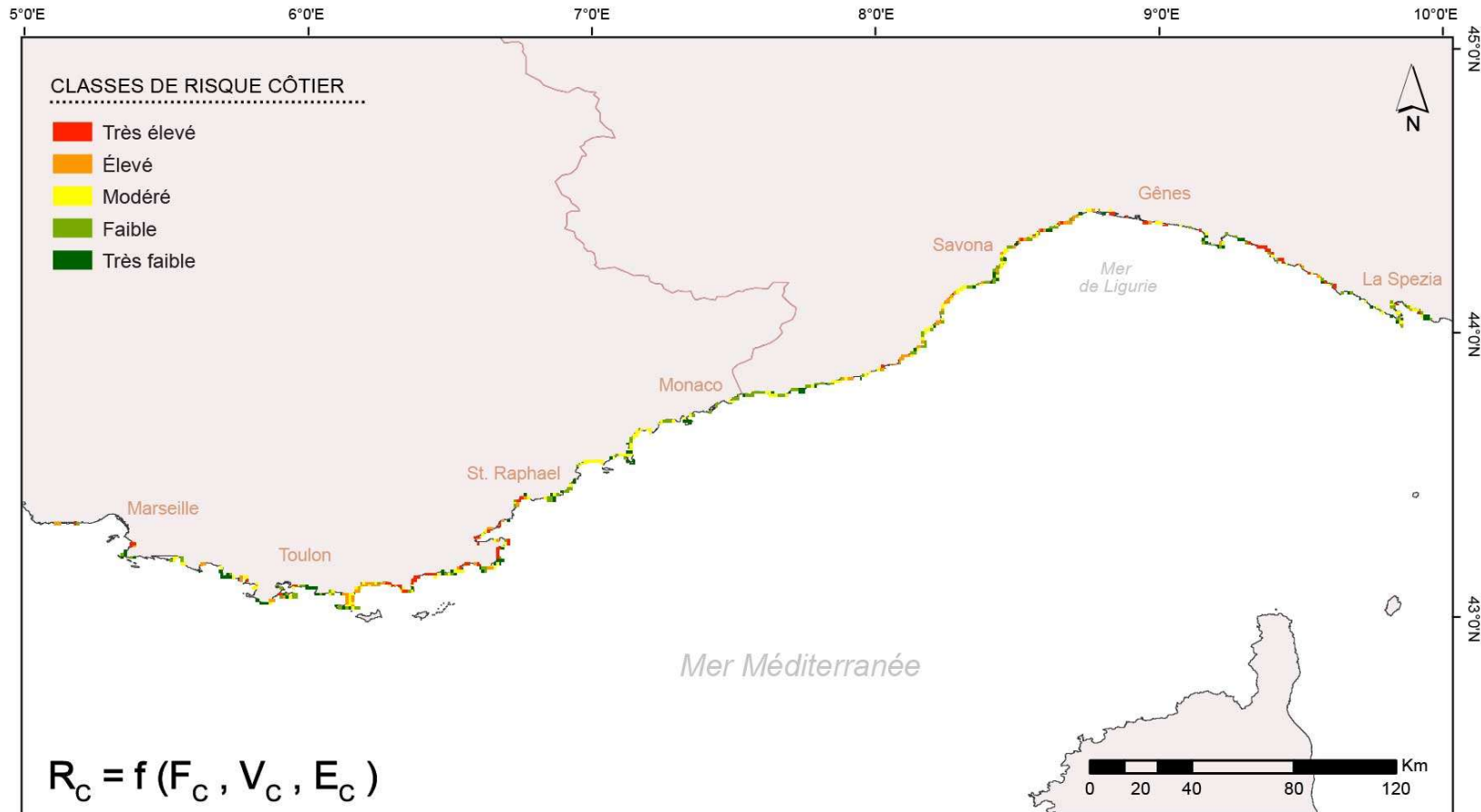


Fig. 13 - Carte de Risque côtier.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

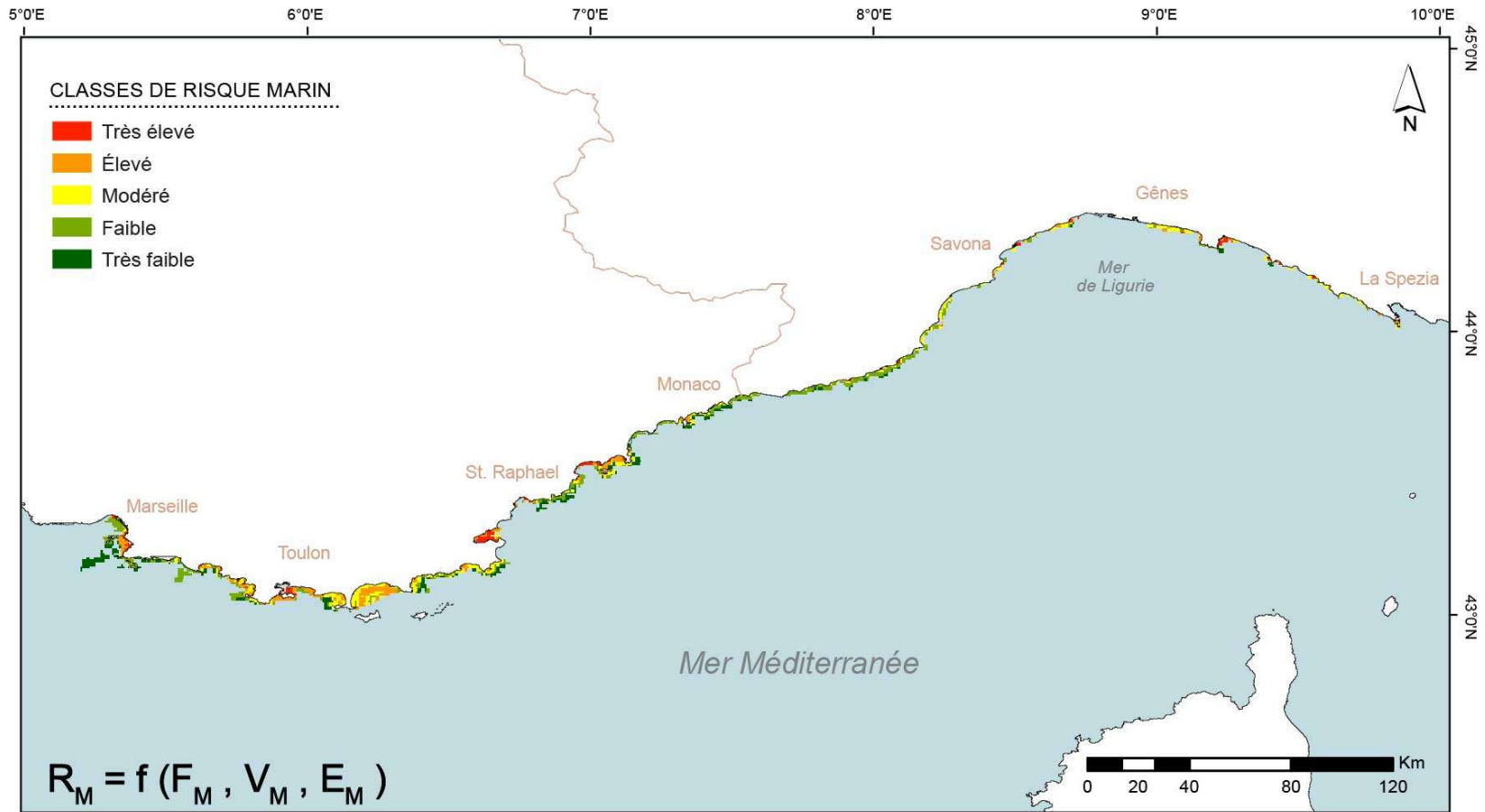


Fig. 14 - Carte de Risque marin.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

Classes de risque côtier	N° pixel [10m x 10m]
Très élevé	10.639
Elevé	35.682
Modéré	110.438
Faible	34.604
Très faible	19.668
<b>Total</b>	<b>211.031</b>

Classes de risque marin	N° pixel [10m x 10m]
Très élevé	195.673
Elevé	763.104
Modéré	623.013
Faible	661.559
Très faible	469.866
<b>Total</b>	<b>2.695.428</b>

Tab. 8 - Numéro de pixel (10 x 10 m) exposés à différentes classes de risque.

Classes de risque	Rivages sablonneux	Forêts côtières	Zones Humides	Posidonie	Coralligène
Très élevé	14,5%	1,2%	0,5%	7,5%	0,3%
Elevé	30,3%	8,9%	11,6%	29,0%	2,0%
Modéré	32,7%	25,8%	77,2%	23,5%	6,9%
Faible	18,2%	36,6%	6,3%	24,9%	10,8%
Très faible	4,4%	27,5%	4,5%	15,2%	80,1%

Tab. 9 - Pourcentage de surfaces exposés à différents niveaux de risque par chaque écosystème.

L'analyse des risques montre très clairement que les plages sont les écosystèmes les plus exposés aux impacts climatiques futurs. Près de 41% des plages de la région RAMOGE présentent un risque élevé, dont 13,9% à risque très élevé. Le risque auquel les zones humides côtières sont exposées est également considérable avec plus de 15%. La posidonie est l'écosystème marin présentant le risque le plus élevé avec 15% de risques élevés et 3,8% de risques très élevés (ex. le golfe de Saint-Tropez).



### 3.8 Coûts associés à la perte d'écosystèmes côtiers

La possibilité de transformer la richesse de la nature en valeur monétaire et de sensibiliser la population est une question clé pour le développement durable des sociétés humaines au XXI<sup>ème</sup> siècle (de Groot et al., 2012 ; MA, 2005 ; TEEB, 2010). Comme le soulignent TEEB (2008) et Maler et al (2008), une identification et une mesure des écosystèmes et des services qu'ils rendent sont nécessaires pour en promouvoir une bonne gestion, qui permette, parallèlement aux mesures monétaires des biens marchands, d'intégrer les avantages ou coûts des changements des services des écosystèmes aux choix politiques.

Les services écosystémiques (SE) sont les avantages matériels ou immatériels que l'homme retire des écosystèmes et le résultat de processus écologiques et culturels et de leurs interactions. Bien qu'ils soient reconnus comme des facteurs irremplaçables du bien-être humain, ils sont menacés par le changement climatique et la disparition des écosystèmes ou la réduction de leur fonctionnalité qui en résulte.

La recherche sur les services écosystémiques a connu une expansion considérable au cours de la dernière décennie, particulièrement depuis le *Millennium Ecosystem Assessment* (Liquete C., 2013). L'évaluation économique des services écosystémiques (SE) permet de mesurer les avantages qu'apportent les écosystèmes au bien-être humain et peut orienter les décideurs politiques locaux en matière de développement du territoire (Vassallo et al., 2013).

Les protéger, cela signifie disposer d'une plus grande " richesse " par habitant en termes de capital naturel, mais aussi d'une meilleure santé et résilience des territoires.

Depuis les travaux de Costanza et al (1997) - considérés comme un jalon dans l'analyse de l'évaluation économique des services écosystémiques - le nombre total de ces études a considérablement crû (De Groot et al, 2012) et les méthodes d'évaluation ont connu des améliorations (De Groot et al., 2010).

Toutefois, l'analyse de la littérature ne démontre pas de données quantitatives suffisantes pour certaines régions et nations du monde, ni pour tous les écosystèmes, en raison de leurs spécificités territoriales, culturelles, économiques et socio-démographiques. La notion et le concept de services écosystémiques sont très récents et les études antérieures, bien que nées dans le même domaine disciplinaire, ne se réfèrent pas explicitement à ces services.

Il faut souligner cette criticité pour la zone méditerranéenne, inhérente à l'étude en objet, dont le manque d'études pour évaluer les écosystèmes de cette région géographique ne peut pas permettre une estimation unique de la valeur économique globale. La plupart des études (ISPRA Report, 255/2016 ; Ding et al., 2010; Brander et al., 2012; Campagne et al., 2015; Tonin, 2018) dans ce domaine ont pour la plupart mis en évidence la difficulté pour cartographier et modéliser des relations entre changement climatique, biodiversité, écosystèmes et bien-être humain dans une région, ce qui rend difficile les comparaisons entre le nombre réduit de cas existants et le transfert des valeurs sur une plus grande échelle géographique.

En raison des incertitudes et de la nature du contexte de chaque évaluation, pour estimer la valeur économique des cinq écosystèmes marins côtiers identifiés comme pertinents dans la zone RAMOGE - à savoir les côtes sableuses, les forêts côtières, les zones humides (zones côtières), les prairies de Posidonie et Coralligène (zones marines) - on a considéré les études "*Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units*" De Groot et al. (2012), e "*The TEEB Valuation Database: overview of structure, data and results*" (Van der Ploeg et al., 2010).

Le système de classement des services écosystémiques, suivi par De Groot et al (2012) pour l'évaluation économique, est emprunté au "Rapport TEEB-D0 chapitre 1" (De Groot et al., 2010), qui décrit 22 services répartis en quatre grandes catégories : fourniture, réglementation, habitat et services culturels.

Le tableau 8 offre une vue d'ensemble des services écosystémiques utilisés.



SERVICES ECOSYSTEMIQUES	
<b>Services d'Approvisionnement</b>	
Alimentation	Approvisionnement en aliments
Eau	Approvisionnement en eau
Matières premières	Approvisionnement en matières premières
Ressources génétiques	Acquisition de ressources génétiques
Ressources médicales (produits biochimiques et pharmaceutiques)	Acquisition de ressources médicales
Ressources décoratives	Fourniture de ressources ornementales
<b>Services de Régulation</b>	
Qualité de l'air	Influence sur la qualité de l'air
Climat	Contrôle de la température
Risques naturelles	Modération des événements extrêmes
Flux hydriques	Régulation du flux d'eau
Déchets	Traitement des déchets et épuration de l'eau
Érosion	Prévention de l'érosion
Fertilité des sols	Formation des sols
Pollinisation	Présence de pollinisateurs
Lutte biologique	Contrôle biologique
<b>Services de support ou de soutien (Habitat)</b>	
Fonction nurserie	Maintenir le cycle de vie
Biodiversité	Conservation de la biodiversité
<b>Services Culturels</b>	
Esthétisme	Valeurs esthétiques
Tourisme	Possibilités d'activités récréatives et écotouristiques
Inspiration	Inspiration pour la culture, l'art et le design
Spirituelle	Valeurs spirituelles et religieuses
Développement cognitif	Information pour le développement cognitif (éducation et science)

Tab. 10 - Liste des services écosystémiques Source : MEDSEA révision des données en "Table 1.10 - List of all ecosystem services" en The TEEB Valuation Database : overview of structure, data and results (Van der Ploeg et al., 2010) et en "Table 1 : The number of value estimates per valuation method and ecosystem service" (De Groot et al., 2012).

Dans la plupart des services, différentes méthodes d'évaluation économique ont été utilisées pour estimer leur valeur monétaire. L'analyse de De Groot et ses collaborateurs (2012) a montré que les services d'approvisionnement étaient évalués principalement au moyen de méthodes du prix du marché. Trois méthodes principales ont été utilisées pour réglementer les services : les coûts évités, les prix directs du marché et le coût de remplacement. Les services de soutien ont été estimés surtout par rapport au prix direct du marché et au facteur de production, tandis que les services culturels ont été évalués en fonction



des prix directs du marché et des coûts de transport. Le tableau 11 résume les valeurs monétaires estimées pour les différents services écosystémiques.

ECOSYSTEMES	VALEUR ECONOMIQUE (Int. \$/ha)			Auteurs
	Total des valeurs moyennes de services	Total des valeurs minimales	Total des valeurs maximales	
<b>Système Océan</b>	491	85	1.664	De Groot et al., 2012
Récifs coralliens	352.915	36.794	2.129.122	De Groot et al., 2012
Zones humides littorales	193.845	300	887.828	De Groot et al., 2012
Zones humides intérieures	25.682	3.018	104.924	De Groot et al., 2012
Rivières et lacs	4.267	1.446	7.757	De Groot et al., 2012
Forêt tropicale	5.264	1.581	20.851	De Groot et al., 2012
Forêt tempérée	3.013	278	16.406	De Groot et al., 2012
Bois	1.588	1.373	2.188	De Groot et al., 2012
Pâturages	2.871	124	5.930	De Groot et al., 2012
<b>Système côtier</b>	28.917	26.167	42.063	De Groot et al., 2012
Plages		92.190		Valeur économique choisie, présentes dans TEEB Valuation Database (Van der Ploeg et al., 2010)
Herbiers marins		16.819		Valeur économique choisie, présentes dans TEEB Valuation Database (Van der Ploeg et al., 2010)

Tab. 11 - Calculs de valeurs monétaires pour les différents SE (Int.\$/ha/yr2007/PPP-corrige)<sup>3</sup>

Le tableau 11 présente un résumé des valeurs monétaires des services écosystémiques trouvés pour 10 écosystèmes analysés. Dans le travail de De Groot et al. (2012), la moyenne des valeurs monétaires des services écosystémiques pour chaque catégorie d'écosystème a été calculée. Ensuite, les auteurs ont additionné les valeurs moyennes des services écosystémiques pour les 10 écosystèmes identifiés. Les valeurs minimales et maximales ont été calculées pour chaque service écosystémique afin de fournir un aperçu de la distribution des valeurs (De Groot, et al. 2012). Cela a été fait parce qu'aucune analyse statistique rigoureuse ne pouvait être effectuée pour chaque écosystème en raison du manque de valeurs par service écosystémique. Le tableau 11 présente un résumé de ces chiffres (De Groot, et al. 2012). L'étude de De Groot et al. (2012) a pris en considération plus de 320 publications couvrant plus de 300 sites. Le tableau 11 présente un résumé de ces chiffres. Il est important de garder à l'esprit que la valeur est basée sur des études de cas individuelles et que, dans certains cas, elle conduit à de larges gammes de valeurs.

<sup>3</sup> Le dollar international, ou dollar Geary-Khamis, est une devise ou unité hypothétique utilisée pour standardiser les valeurs monétaires parmi les pays via une correction au même pouvoir d'achat que celui qu'offrirait le dollar américain aux Etats-Unis à un moment donné. Les chiffres présentés en dollars internationaux ne peuvent pas être convertis dans une autre devise nationale en utilisant les taux de change actuels du marché. Ils doivent au lieu de cela être convertis en utilisant le taux de change de la PPA (parité de pouvoir d'achat) du pays. 1Int.\$=1USD. (Brink et al., 2013).

Pour la réalisation des travaux de recherche, 665 estimations des 1350, codées et enregistrées, ont été sélectionnées dans la base de données "Ecosystem Services Valuation Database" (ESVD) (De Groot et al., 2012).

La figure 22 illustre graphiquement la fourchette de la valeur économique totale de l'environnement (VET) de chacun des services sur une échelle logarithmique (De Groot et al., 2010a). Le nombre total d'évaluations par biome est indiqué entre parenthèses ; la moyenne de la plage de valeurs est indiquée sous forme d'étoile (De Groot et al., 2012).

Il faut remarquer que les valeurs moyennes des services écosystémiques varient considérablement selon le continent et la méthode d'évaluation utilisée (Brander et al., 2006).

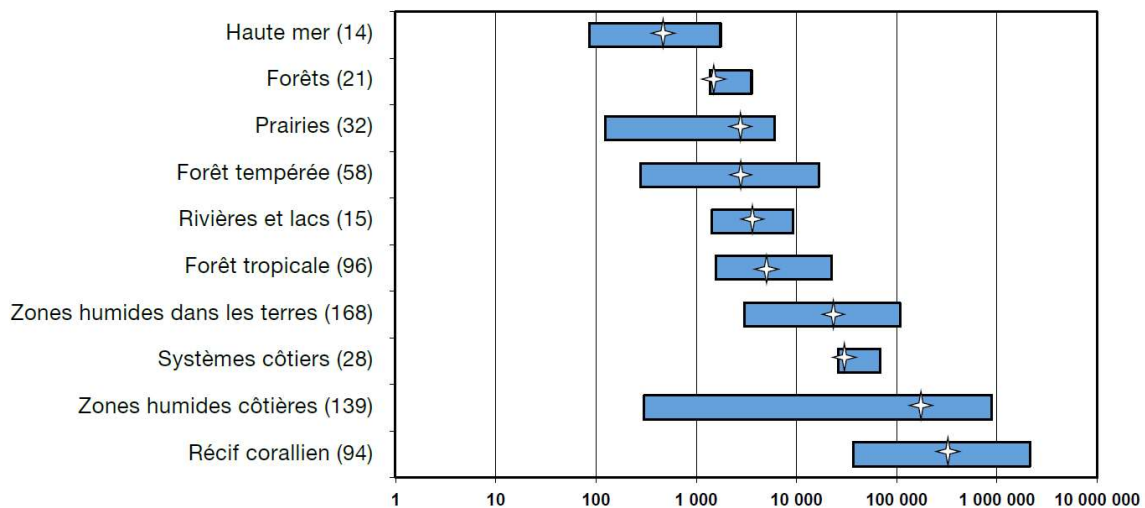


Fig. 15 - Fourchette de valeurs de tous les services écosystémiques fournis par différents types d'habitat (Int.\$/ha/yr2007/PPP-corrected). Source Brink P., et al., 2013.

A partir de "The TEEB Valuation Database : overview of structure, data and results" (Van der Ploeg et al., 2010) et vu l'intérêt de notre étude, notamment pour les écosystèmes de plages et algues (Posidonia), la valeur économique totale (VET) d'une étude européenne a été choisie pour les plages car plus similaire pour les caractéristiques du territoire étudié; pour ce qui est des algues une valeur obtenue par méthode du coût de remplacement est retenue, la méthodologie la plus conforme aux objectifs du RAMOGE.

Aux fins de cette étude, les valeurs contenues dans le tableau 11 ont été utilisées pour estimer la perte économique en prenant en compte la probabilité d'occurrence des impacts du changement climatiques sur les écosystèmes (le risque comme défini au point 3.7)

Pour évaluer ces pertes, nous avons calculé la surface perdue (submergée) ou endommagée (régulièrement inondée) pour chaque écosystème et l'avons multiplié par la valeur monétaire relative indiquée dans le tableau 11.

Les valeurs prises en compte pour les écosystèmes cibles sont les suivants : pour les zones humides, la valeur moyenne parmi les zones humides côtières ; pour les forêts côtières, la valeur moyenne des forêts tempérées ; pour le coralligène, la valeur la plus basse (de Groot, 2012).



N'ayant pas trouvé de références spécifiques à la posidonie, la valeur des herbiers marins a été prise en compte.

Une fois que les valeurs économiques des 5 écosystèmes ont été attribuées, la perte économique a été évaluée pour l'année 2100. Deux hypothèses ont été formulées pour le calcul de la perte économique :

- 1) les variations de la perte économique ont été considérées comme étant constantes chaque année entre 2018 et 2100 ;
- 2) le taux d'actualisation a été fixé à 0,0% considérant que la valeur économique des écosystèmes ne variera pas d'ici au 2100.

La valeur de la perte économique a été calculée en multipliant la valeur économique de chaque écosystème en 2018 (tableau 12) par le facteur de risque précédemment calculé (figures 13 et 14). Comme décrit précédemment, le risque est un indice compris entre 0 et 1.

Ainsi, en cas de risque total sur un écosystème (indice de risque maximal = 1), cela correspondrait à une perte totale de la valeur de l'écosystème pour cette portion de territoire.

Le calcul est le suivant : une multiplication a été réalisée, cellule par cellule à l'aide de la fonction SIG "raster calculator", entre les valeurs économiques actuelles des écosystèmes et les valeurs de risque potentiel (marin et côtier).

La somme des résultats obtenus pour chaque cellule permet de calculer la perte totale de la valeur des écosystèmes, par catégorie d'écosystème, en 2100, comme indiqué dans le tableau 12.

Écosystèmes	Valeur économique 2018 [€/ha/an]	Surface [ha]	Valeur économique 2018 [€/an]	Perte économique 2100 [€/an]	Perte moyenne annuelle [% / an]
Rivages sablonneux	75.965	665	50.516.432	22.053.324	0,53%
Forêts côtières	2.483	444	1.102.323	365.651	0,40%
Zones humides	159.728	1.001	159.888.008	63.856.861	0,49%
Posidonie	13.859	26.229	363.504.039	129.994.740	0,44%
Coralligène	30.318	903	27.377.389	5.029.624	0,22%
<b>Total</b>	<b>282.353</b>	<b>29.242</b>	<b>602.388.192</b>	<b>221.300.200</b>	<b>0,45%</b>

Tab. 12 - Estimation de la perte économique.

Pour le seul effet du changement climatique, la valeur des 5 écosystèmes passerait de 600 millions d'euros (en 2018) à un peu plus de 380 millions d'euros (en 2100), avec une perte totale de 221 millions d'euros.

La perte associée aux impacts du changement climatiques sur un hectare d'écosystème terrestre est estimé à environ 41.000€ /an tandis que le coût estimé pour la perte d'un hectare d'écosystème marin est estimé à environ 5.000 €/an.

### 3.9 Les 3 zones pilotes

Par la suite, trois zones pilotes (une pour chaque pays : Antibes (France, région Sud-PACA), Monaco et Portofino (Italie, Région Ligurie) ont été analysées de manière plus détaillée, avec des données collectées localement.



Fig. 16 - Localisation des trois zones pilotes

#### 3.9.1 Antibes

Le site Natura 2000 « Baie et Cap d'Antibes – Iles de Lérins » est localisé sur le littoral dans la partie Ouest du département des Alpes-Maritimes, en plein cœur de la Côte d'Azur et s'étend sur 13 627 hectares. Le site est majoritairement marin (à 98%), les parties terrestres correspondent au Fort Carré, au bois de la Garoupe, aux côtes rocheuses du Cap d'Antibes et à l'archipel des îles de Lérins.

Le Golfe Juan présente une ouverture de 7 kilomètres sur la mer entre le Cap de la Croisette et le Cap d'Antibes. A l'intérieur du golfe, le littoral est majoritairement de nature sableuse entrecoupé par des infrastructures portuaires, seul un linéaire de côte d'environ 1500 mètres au niveau de la Pointe Fourcade est de type rocheux. Les îles de Lérins présentent un littoral exclusivement rocheux et découpé, avec parfois quelques plages de taille très réduite.

La Zone Marine Protégée de Golfe-Juan est une zone de 50 hectares dans laquelle ont été immergés des récifs artificiels dans le but de restaurer les petits fonds littoraux et de reconstituer la ressource.

Sur l'île de Sainte Marguerite est présent l'habitat de lagune côtière qui correspond à l'étang salé du Batéguier, relié à la mer par deux voies de communication (pertuis). Les parties terrestres du site Natura 2000 « Baie et Cap d'Antibes – Iles de Lérins » font partie des rares espaces naturels littoraux de la Côte d'Azur encore préservés. Les pinèdes de pin d'Alep se développent en liseré sur le pourtour du littoral, soit

juste au contact des rochers maritimes soit légèrement en retrait. En plus de sa valeur écologique, cet habitat a une forte valeur paysagère et esthétique participant à l'image de la Côte d'Azur. En ce qui concerne les écosystèmes marins (Fig. 16), l'herbier de posidonie se rencontre autour des Iles de Lérins, de Golfe Juan et du Cap d'Antibes, mais est absent entre le port Vauban et le port Marina Baie des Anges. Trois petits récifs barrières de posidonies ont été identifiés dans l'anse du Batéguier. Ces formations particulières font partie des dernières existantes en Méditerranée française occidentale, elles sont à préserver strictement. Sur le site, le coralligène se présente sous la forme de tombants (coralligène de parois), mais également de massifs. On le rencontre généralement dès 25 à 30 mètres de profondeur, faisant suite à la limite inférieure de l'herbier à posidonies, et jusqu'à 65 mètres de profondeur environ (Ville d'Antibes Juan-les-Pins, 2012). La Figure 17 montre la carte des risques pour les écosystèmes marins et côtiers. L'analyse a mis en évidence la sensibilité des herbiers du golfe d'Antibes en raison d'un grand nombre de zones fortement endommagées par l'impact anthropique (ex. mouillages).

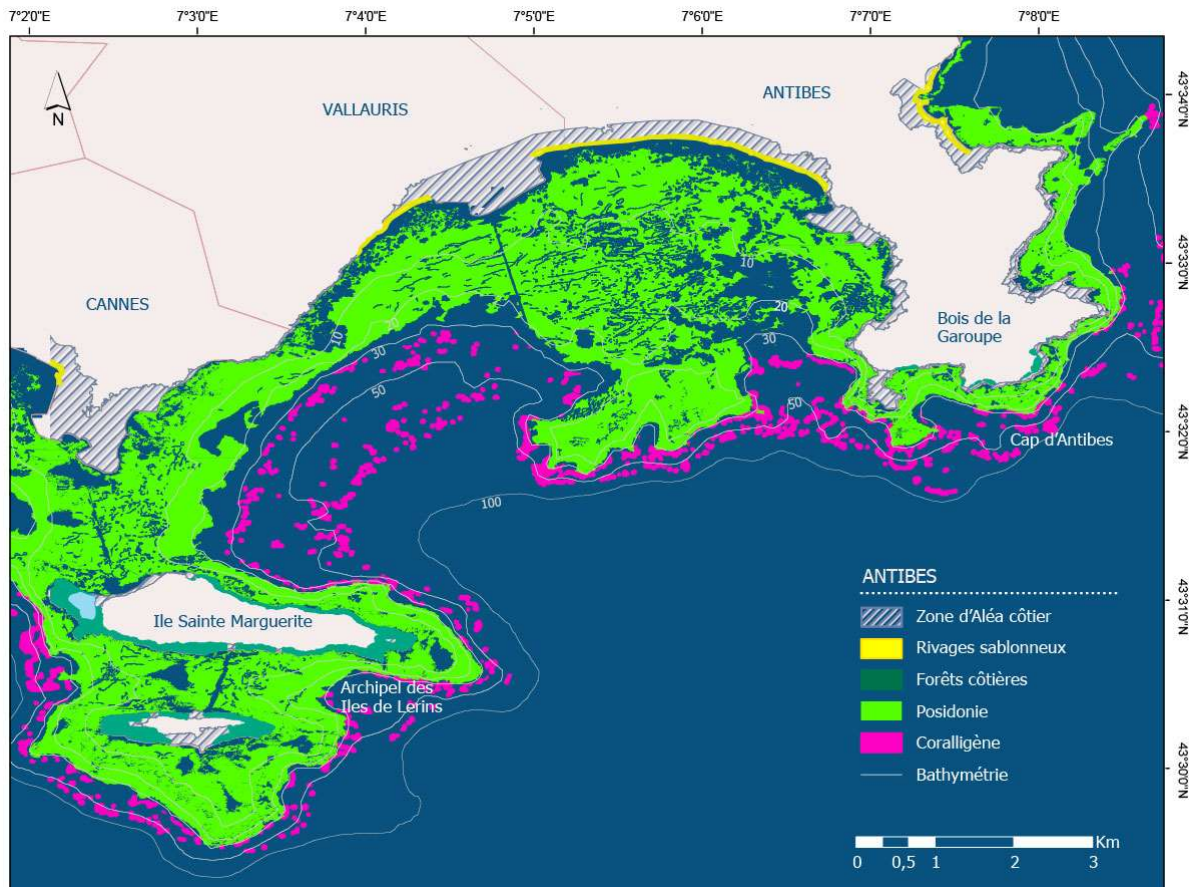


Fig. 17 - Carte des écosystèmes marins et côtiers de Antibes

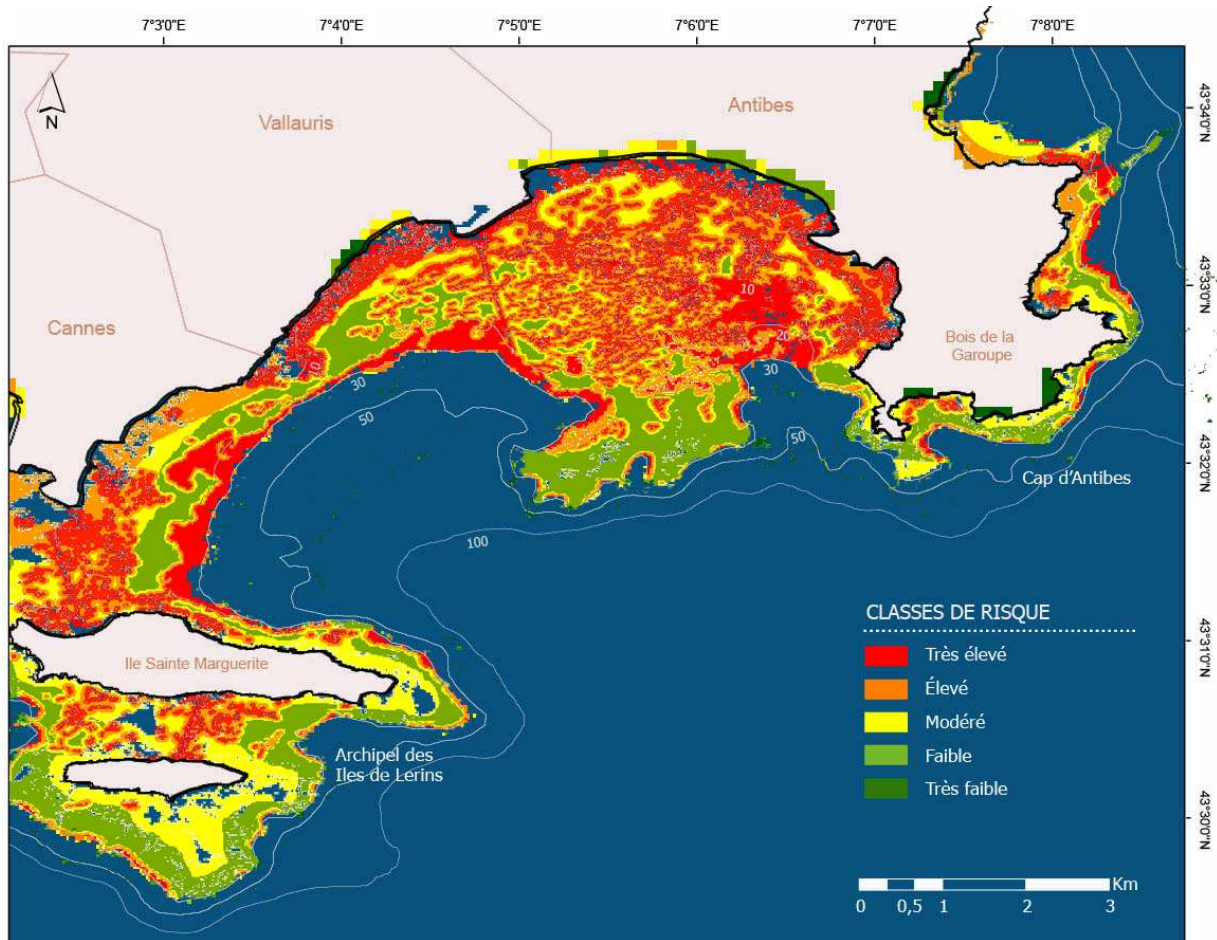


Fig. 18 - Carte des Risques marins et côtiers de Antibes.

Écosystèmes Antibes	Valeur économique 2018 [€/ha/an]	Surface [ha]	Valeur économique 2018 [€/an]	Perte économique 2100 [€/an]	Perte moyenne annuelle [%/an]
Rivages sablonneux	75.965	17,3	1.314.947	501.794	0,5%
Forêts côtières	2.483	1,2	2.930	584	0,2%
Zones humides	159.728	/	/	/	/
Posidonie	13.859	1.913	26.507.703	9.784.030	0,5%
Coralligène	30.318	49,8	1.509.546	261.929	0,2%
<b>Total</b>	<b>282.353</b>	<b>1.981</b>	<b>29.335.125,23</b>	<b>10.548.337</b>	<b>0,4%</b>

Tab. 13 - Estimation de la perte économique de Antibes.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

### 3.9.2 Monaco

La Principauté de Monaco est située en bordure de littoral et à l'exutoire d'un bassin versant côtier de petite taille (11 Km<sup>2</sup>), Monaco est sous l'influence directe de la mer.

Deux zones côtières de la Principauté revêtent une importance biologique majeure, la zone dite du Larvotto, qui est caractérisée par la présence d'un herbier de Posidonie, et la zone dite du Tombant des Spélugues qui présente une falaise coralligène riche en corail rouge de Méditerranée ou corail des bijoutiers.

La Réserve marine du Larvotto, mise en place en 1976, est située dans la partie Est du littoral monégasque, devant les plages du quartier du Larvotto (Debernardi et Allemand, 1993). Elle a une forme trapézoïdale (33 Hectares) et s'appuie directement sur la côte. Elle englobe deux digues artificielles faites de blocs rocheux. L'herbier à *Posidonia oceanica* constitue la biocénose la plus importante de cette Réserve et est l'unique représentant de cet habitat à Monaco. Le fond de la réserve (Boudouresque C.F., 2008), outre l'herbier de Posidonie qui s'étend de 8 à 25 m de profondeur, est constitué de sable, de vase, de graviers et de roches. La zone englobant la partie côtière de la réserve ainsi que la zone du Portier voisine jusqu'à la profondeur de 6 m ont été déclarées en zone humide d'importance nationale au sens de la Convention RAMSAR (Centre Scientifique de Monaco, 2008).

La réserve du Tombant Coralligène des Spélugues, créée en 1986, est une réserve de corail rouge coralligène de surface réduite (1,9 ha avec une profondeur maximale de 38 mètres). Cette réserve avait pour but la protection du tombant coralligène des Spélugues présentant de nombreuses colonies de corail rouge (*Corallium rubrum*), de gorgones (*Eunicella cavoloni*, *E. singularis*), d'éponges (*Crambe crambe*, *Axinella*, *Clathrina*), de vers tubicoles ou de Bryozoaires (Allemand et al., 1995. Marchioretto, 1999). L'extrémité ouest de cette zone a été modifiée par la construction de la pile de la contre-jetée du nouveau port de Monaco. Le corail rouge présent dans la réserve a malheureusement souffert à la fois des épisodes de mortalités massives de 1999 et du rejet en mer de sédiments à la suite des travaux d'extension du port (Centre Scientifique de Monaco, 2008).

Sur le territoire côtier, les habitats suivants sont présents (Fig. 18) :

- les falaises continentales humides méditerranéennes ;
- les falaises avec une végétation caractéristique des côtes méditerranéennes avec notamment des *Limonium* Spp. endémiques ;
- les pentes rocheuses calcaires avec une végétation de chasmophyte ;
- les fourrés thermophiles méditerranéens à euphorbe arborescente ;
- les fourrés thermophiles méditerranéens à palmier nain.

Les zones marines de Monaco ne sont pas hautement à risque par rapport aux impacts attendus du changement climatique (Fig. 19).



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

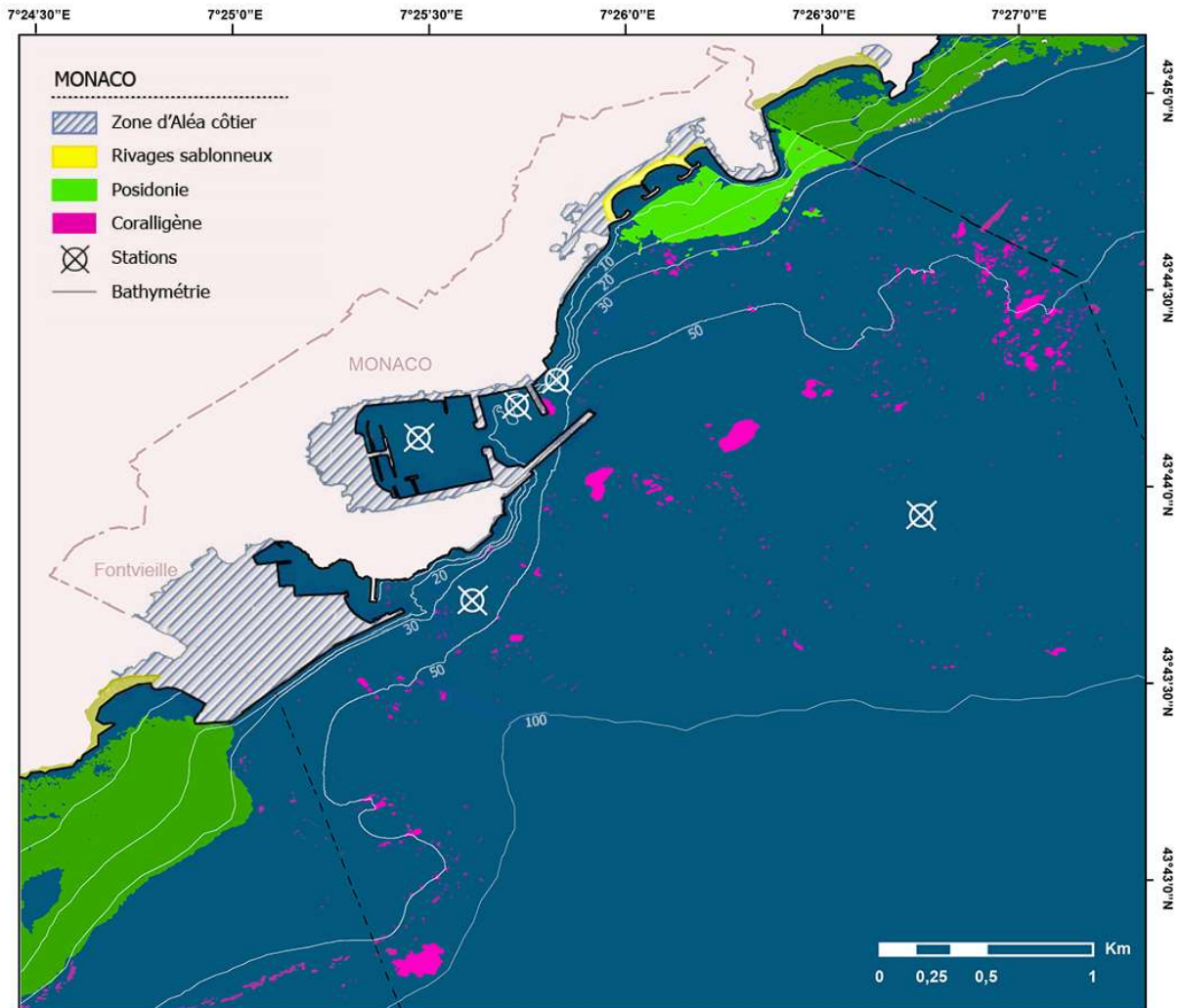


Fig. 19 - Carte des écosystèmes marins et côtiers de Monaco.

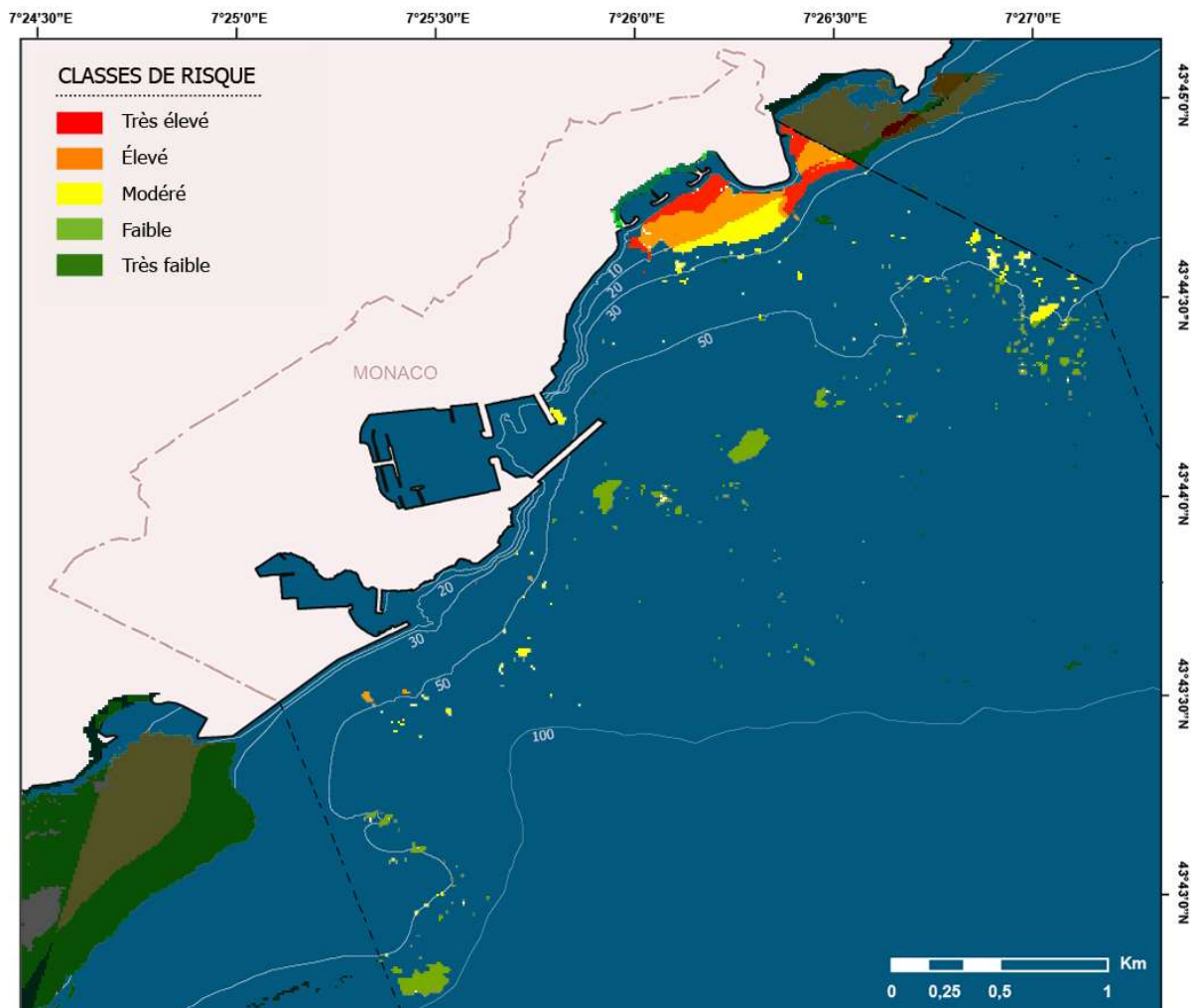


Fig. 20 - Carte des Risques marins et côtiers de Monaco.

Écosystèmes Monaco	Valeur économique 2018 [€/ha/an]	Surface [ha]	Valeur économique 2018 [€/an]	Perte économique 2100 [€/an]	Perte moyenne annuelle [% / an]
Rivages sablonneux	75.965	1,67	126.861	34.518	0,33%
Forêts côtières	2.483	/	/	/	/
Zones humides	159.728	/	/	/	/
Posidonie	13.859	17	230.750	66.301	0,35%
Coralligène	30.318	12,3	372.915	70.478	0,23%
<b>Total</b>	<b>282.353</b>	<b>30,62</b>	<b>730.525,43</b>	<b>171.297,48</b>	<b>0,29%</b>

Tab. 14 - Estimation de la perte économique de Monaco.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

### 3.9.3 Portofino

Le promontoire de Portofino s'étend sur plus de 3 km dans la mer Ligure, avec un développement côtier d'environ 15 km. Les falaises submergées du Promontorio abritent une faune et une flore particulièrement riches et diversifiées. Le rocher qui forme le versant sud, riche en ravins et fissures, a favorisé l'instauration d'un environnement typiquement méditerranéen, le coralligène, qui atteint un développement rarement observé dans d'autres régions. De 30 à plus de 50 m de profondeur, grâce à l'action continue et constructive des algues corallines et des animaux à squelette calcaire, il a formé avec le temps un environnement très complexe dominé par de grandes gorgones, éponges, madréporaire et bryozoaires (coralligènes). Sur les fonds sablonneux des côtes ouest et du promontoire, on trouve des prairies de posidonies, où de nombreuses espèces trouvent refuge et nourriture. Depuis 1999, le site fait partie de la zone de protection marine de Portofino qui s'étend autour du promontoire du même nom, inclus dans les villes de Camogli, Portofino et S. Margherita Ligure. Depuis 2005, la zone de protection marine est une zone spécialement protégée d'intérêt méditerranéen reconnue par le bureau du CAR / ASP du PNUE de Tunis (PNUE, 2005). Depuis 2007, il s'agit du site LTER (Recherche écologique à long terme) (<http://www.remare.org/rete-parchi-marini-in-liguria-1/portofino>, s.d.). Les fonds de l'Aire Marine Protégée de Portofino, dont l'importance biologique et écologique est très grande, sont un rendez-vous incontournable pour les plongeurs venus de toute l'Italie et de divers pays d'Europe. *Posidonia oceanica* y est présente dans 2 larges zones densément couvertes, entourées par des herbiers plus clairsemés et de moindre importance. Les 2 herbiers principaux se trouvent respectivement à l'Ouest (entre Camogli et Punta Chiappa) et à l'Est (entre Paraggi et Santa Margherita) du promontoire de Portofino, qui sont les 2 secteurs les plus utilisés comme mouillage par les plaisanciers. Dans ces 2 secteurs, longs respectivement d'environ 1000 et 500m et larges d'environ 100m, mouillent des centaines d'embarcations de toutes tailles, de 3m à plus de 20m de long, tout particulièrement en été et en fin de semaine. Depuis la création de l'Aire Marine Protégée, en 1998, il existe une réglementation des activités, qui prévoit la délimitation de zones d'ancrage et de zones de mouillage réglementées. Pour le moment, toutefois, l'ancrage est autorisé dans des secteurs qui comportent des herbiers à *P. oceanica* (Boudouresque C.F., 2008).

Les zones les plus exposées sont celles du nord de Paraggi et du golfe de Santa Margherita Ligure (Fig. 21).



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

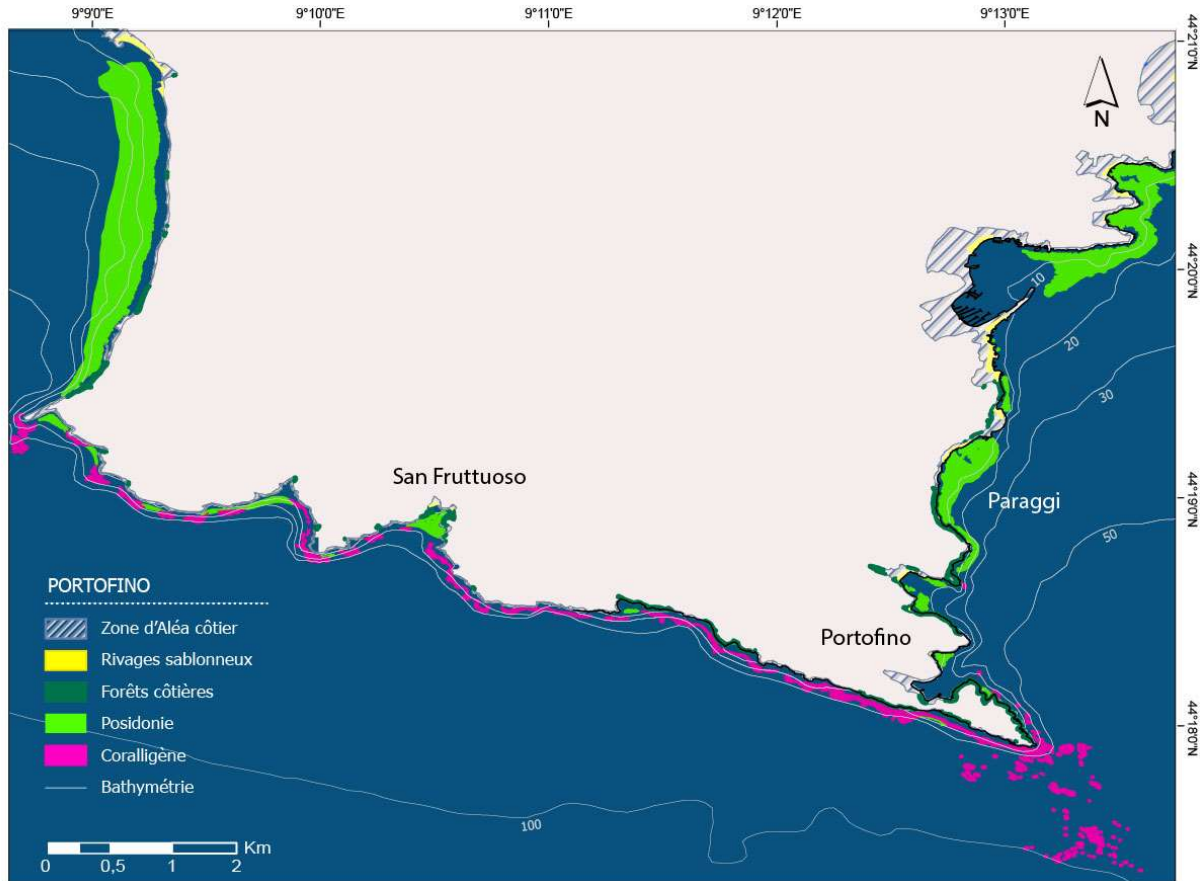


Fig. 21 - Carte des écosystèmes marins et côtiers de Portofino.

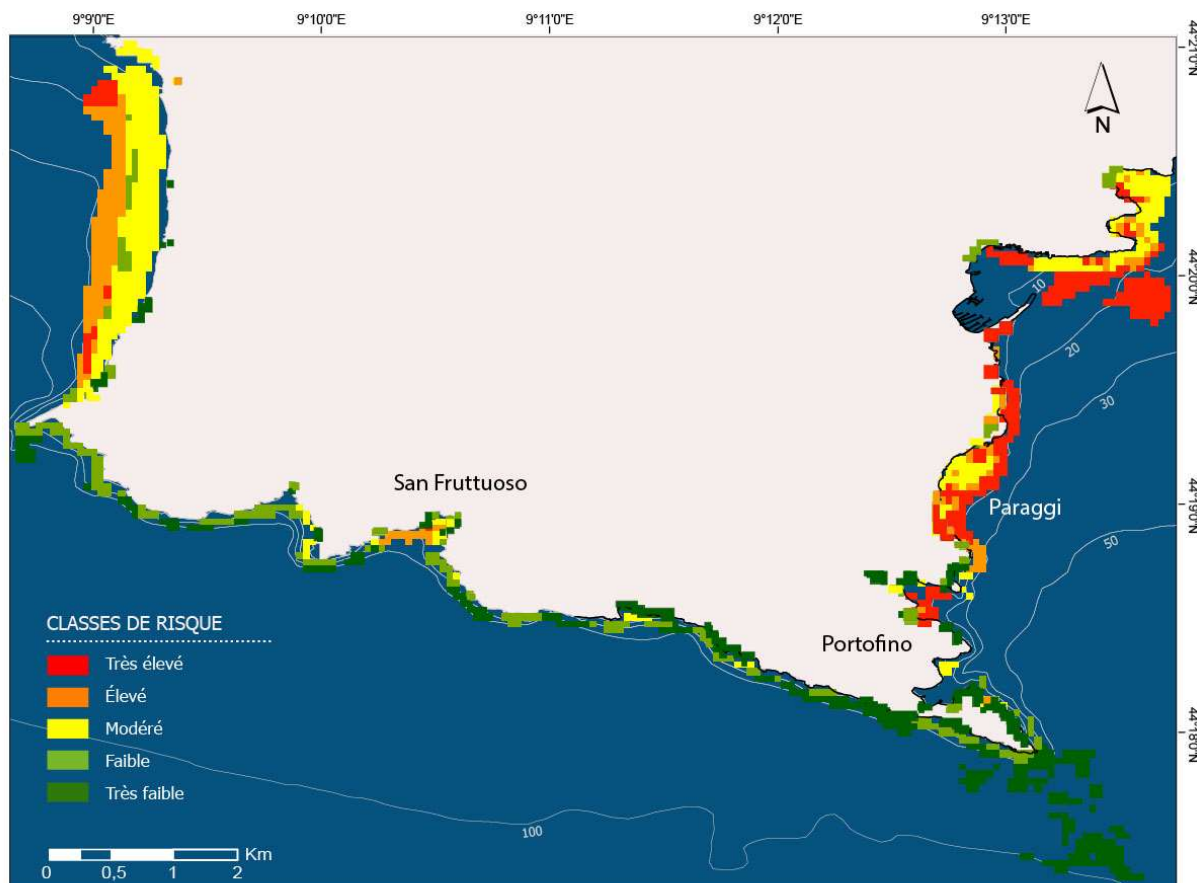


Fig. 22 - Carte des Risques marins et côtiers de Portofino.

Écosystèmes Portofino	Valeur économique 2018 [€/ha/an]	Surface [ha]	Valeur économique 2018 [€/an]	Perte économique 2100 [€/an]	Perte moyenne annuelle [% / an]
Rivages sablonneux	75.964,56	3,8	288.665	104.428	0,44%
Forêts côtières	2.482,71	3,92	9.732	3.051	0,38%
Zones humides	159.728,28	/	/	/	/
Posidonie	13.858,86	108	1.490.936	637.857	0,52%
Coralligène	30.318,26	21,3	645.779	136.995	0,26%
<b>Total</b>	<b>282.352,67</b>	<b>136,60</b>	<b>2.435.112,65</b>	<b>882.330,17</b>	<b>0,44%</b>

Tab. 15 - Estimation de la perte économique de Portofino.



## 4 Conclusions

Il est maintenant largement reconnu que les écosystèmes côtiers et marins connaissent de plus en plus de pression résultant des actions anthropiques et du dérèglement climatique (GIEC, 2014). Dans tous les scénarios proposés par le GIEC, les concentrations atmosphériques du CO<sub>2</sub> sont plus élevées en 2100 qu'actuellement, en raison d'une poursuite de l'augmentation du cumul des émissions de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère au cours du XXI<sup>ème</sup> siècle (GIEC, 2014).

Les données de la NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) des États-Unis montrent que la température moyenne de la surface de la mer a augmenté d'environ 0,13°C par décennie au cours des 100 dernières années. Un article de 2012 publié dans la revue *Geophysical Research Letters* a révélé que l'océan profond est également touché, un tiers de la chaleur excédentaire étant absorbée à 700 m sous la surface de la mer. Selon les études de modélisation publiées dans le dernier rapport du GIEC, la température moyenne de l'océan mondial devrait augmenter de 1 à 4 ° C d'ici à 2100.

Une telle augmentation et la dilatation thermique qui en résulte sont liées à la hausse du niveau moyen de la mer au niveau mondial. Le niveau de la mer a augmenté au cours du siècle dernier et a augmenté au cours des dernières décennies. En 2014, le niveau de la mer était de 66 cm au-dessus de la moyenne de 1993 - la moyenne annuelle la plus élevée enregistrée par satellite (de 1993 à ce jour). Pour 2100, selon le scénario RCP8.5, l'élévation du niveau des mers est comprise entre 0,52 et 0,98 m, avec un rythme moyen de 8 à 15 mm an<sup>-1</sup> (GIEC, 2014).

L'ensemble des données fourni par le projet RADMED (Vargas-Yáñez et al., 2017) a été fusionné avec les données historiques de la base de données MEDAR / MEDATLAS pour le calcul des tendances de la température et de la salinité de 1900 à 2015. L'analyse de ces séries chronologiques montre que les températures et la salinité des couches intermédiaires et profondes de la Méditerranée occidentale ont augmenté, avec une accélération de ces deux tendances à partir de 1943. Tous ces changements ont eu une incidence sur la biogéochimie océanique.

En outre, de tels changements devraient modifier et intensifier les aléas climatiques - tels que les tempêtes et les vents violents, les inondations et l'érosion - dans les zones côtières, menaçant ainsi les écosystèmes et les populations qui en dépendent.

L'étude a présenté une revue des liens existants et projetés entre le changement climatique et les écosystèmes côtiers et marins de la région de RAMOGE. La littérature et les informations examinées indiquent que les perturbations induites par le climat, telles que l'élévation du niveau de la mer, l'élévation de la température et l'aggravation des phénomènes météorologiques extrêmes vont probablement exacerber les pressions exercées sur les écosystèmes côtiers et marins, tels que les systèmes de dunes, les herbiers et le coralligène.

L'un des aspects novateurs de cette étude a été l'application de l'indice de risque côtier sur les écosystèmes marins, qui a nécessité certaines variations méthodologiques des paramètres déterminant le risque. En particulier, des paramètres de forçage, tels que la variabilité de la température et de la salinité, ont été introduits, ainsi que les effets d'événements marins extrêmes. Cette différence entre les composants du Forçage a nécessité une division claire de l'évaluation des risques pour la partie terrestre et pour la partie marine. Un autre aspect novateur de l'application de l'indice sur la partie terrestre a été le fait de ne porter l'attention que sur les écosystèmes, en laissant de côté la partie anthropisée ou artificielle (terres agricoles ou salines). Ce choix méthodologique a nécessité un affinement supplémentaire de la matrice des impacts causés par le changement climatique sur les zones côtières.



Dans le résumé de l'analyse présentée dans le tableau 9, les écosystèmes les plus exposés au risque climatique sont les plages, les zones humides et les herbiers à posidonie. Près de 41% des plages de la région RAMOGE présentent un risque élevé, dont 13,9% à risque très élevé. Le risque auquel les zones humides côtières sont exposées est également considérable et égal à plus du 15%. La posidonie est l'écosystème marin présentant le risque le plus élevé avec 15% de risques élevés et 4% de risques très élevés (ex. le golfe de Saint-Tropez).

Les forêts côtières pour la partie terrestre et les coralligènes pour la partie marine sont les écosystèmes les moins exposés au risque climatique liés au forçage marin. Sur les forêts, une analyse sur le forçage terrestre (augmentation de la température et sécheresse) devrait être effectuée pour identifier les zones particulièrement vulnérables aux incendies. Il faut prendre en compte le fait qu'au cours des prochaines décennies, le risque d'incendies de forêt dans la région méditerranéenne pourrait augmenter en raison de conditions climatiques plus arides (Turco et al, 2017).

Le coralligène, en raison de ses caractéristiques, est très vulnérable aux activités humaines. Il contient de nombreux organismes sessiles, à vie longue, à croissance lente et aux squelettes fragiles. Les communautés coralligènes, par conséquent, sont extrêmement sujettes aux mécanismes de perturbation induits par le chalutage, les filets de pêche, l'ancrage et les pratiques de plongée incontrôlées. Néanmoins, une augmentation de l'acidification due au changement climatique entraînera un facteur de stress supplémentaire pour les communautés coralligènes.

Après avoir défini le risque associé à chaque portion de territoire marin et côtier, l'étude a défini le coût associé à la perte totale ou partielle de ces écosystèmes. Cela nécessitait une analyse approfondie de la littérature scientifique sur le coût des services écosystémiques.

L'analyse de la littérature économique a mis en évidence les questions critiques liées à l'évaluation économique des écosystèmes marins-côtiers : la complexité de la cartographie des services écosystémiques, la difficulté de modéliser et d'estimer les relations entre changement climatique, biodiversité, services écosystémiques et bien-être humain dans une zone. Ces problèmes rendent difficile la comparaison des études de cas existantes et le transfert des valeurs à une échelle géographique plus fine. En outre, les spécificités environnementales, culturelles, économiques et sociodémographiques de chaque site, ainsi que l'absence d'études évaluatives des écosystèmes de la zone méditerranéenne (en particulier l'Italie), en l'état actuel des connaissances, ne sont pas suffisantes pour estimer une valeur économique globale pour chaque écosystème de cette région. Des recherches plus approfondies devraient être menées sur l'évaluation économique des écosystèmes et des habitats à l'échelle méditerranéenne, afin d'obtenir des informations plus précises et ponctuelles qui permettraient un calcul plus exact des coûts du risque de perte du patrimoine littoral du au changement climatique. Il faudrait aussi diffuser plus largement les résultats des recherches disponibles afin de guider les décideurs politiques dans la mise en œuvre d'un développement durable qui garantisse la sauvegarde des richesses de la biodiversité.

Malgré les lacunes relevées, les valeurs économiques considérés dans notre étude, qui font référence à la valeur de chaque écosystème à l'échelle mondiale, ont permis de fournir des estimations qui peuvent être actualisées et optimisées grâce la disponibilité de nouvelles données pour l'évaluation des services des écosystèmes ; et affiner les conséquences de la perte de qualité des écosystèmes due aux impacts possibles du changement climatique. Au final, l'estimation des coûts associés à la perte totale et partielle d'écosystèmes et de services associés à cause des changements climatiques monte à plus de 224 millions d'euros par an pour toute la zone RAMOGE.



## 5 Recommandations pour les décideurs

Le défi du changement climatique doit être traité au moyen d'approches et d'instruments intégrés et basés sur les écosystèmes, tels que la gestion intégrée des zones côtières.

Ceux-ci sont essentiels pour jeter les bases d'une gestion et d'un développement côtiers durables, soutenant le développement socio-économique, la biodiversité et les services écosystémiques.

### 5.1 Directives pour l'élaboration d'une stratégie pour l'adaptation des écosystèmes marins-côtières au changement climatique

L'adaptation planifiée par l'homme et la gestion des écosystèmes pour relever le défi du changement climatique sont largement axées sur le renforcement de la résilience. Pour définir une bonne stratégie de résilience, nous proposons neuf lignes directrices adressées aux décideurs locaux et nationaux :

1. **Définir les objectifs d'adaptation.** L'adaptation de l'écosystème doit être étayée par une définition claire et convenue par tous les acteurs du territoire de ce pour quoi nous nous adaptons afin de guider la prise de décision et les actions d'adaptation. Par exemple, si l'objectif d'adaptation est de maintenir la structure et les communautés existantes de l'écosystème (c'est-à-dire de préserver les espèces sur place), les obligations et les politiques statutaires existantes risquent de ne pas être appropriées. Des cadres de politique réactifs sont nécessaires pour permettre une gestion adaptative.
2. **Créer (ou intégrer) une politique d'adaptation à l'échelle nationale.** Assurer la reconnaissance de la diversité des écosystèmes et de leurs distributions changeantes à l'échelle continentale. La planification de l'adaptation doit reposer sur une coopération et une coordination intergouvernementale, l'alignement des politiques à tous les niveaux de gouvernement et la mise en place de plans d'action stratégiques et cohérents.
3. **Intégrer la prise en compte des impacts du changement climatique sur les écosystèmes dans l'élaboration des politiques dans tous les secteurs.** Cela contribuera à éviter que les décisions sectorielles entraînent des résultats négatifs pour les écosystèmes. Par exemple, la gestion de l'eau pour la sécurité d'approvisionnement en eau des villes devrait également prendre en compte les impacts sur les zones humides.
4. **Ciblez les écosystèmes clés à protéger et pré-identifiez leur compatibilité avec les activités présentes et futures.** Les politiques devraient également offrir une flexibilité temporelle et spatiale pour permettre une adaptation aux changements rapides. Dans le « pire des scénarios », il peut être nécessaire d'adopter une approche sélective dans laquelle les ressources sont concentrées sur les écosystèmes les plus susceptibles de survivre sous les effets du climat. Cette politique exigerait un engagement et un soutien substantiels de la part de la communauté.
5. **Obtenir l'engagement, le soutien et la compréhension de l'ensemble des acteurs, fondements de programmes de gestion efficace.** Les communautés locales font partie intégrante des écosystèmes et doivent être impliqués.
6. **Trouver les bonnes approches et leviers de communication pour garantir l'action.** Cela peut inclure la reconnaissance des effets négatifs de certains comportements anthropiques et des impacts



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

du changement climatique sur des espèces emblématiques, ou l'utilisation d'images chocs résultantes d'impacts d'événements extrêmes pour sensibiliser.

7. **Utilisation de mécanismes de marché.** Par exemple les paiements pour les services écosystémiques et environnementaux.
8. **Utilisation d'autres outils.** Tels que la réglementation, les taxes et les subventions pour encourager les actions d'adaptation des propriétaires terriens privés.
9. **Allouer des fonds et des ressources aux programmes d'investigation scientifique et de surveillance.** L'objectif est d'identifier les écosystèmes en péril, les taux de changement et l'efficacité des mesures d'adaptation. Les résultats des programmes de surveillance devraient éclairer la prise de décision ultérieure concernant l'adaptation. Les connaissances scientifiques doivent être efficacement communiquées aux responsables politiques et aux décideurs politiques au plus haut niveau pour soutenir des politiques d'adaptation des écosystèmes fondées sur des données scientifiques.

## 5.2 Mesures d'adaptation pour les écosystèmes marins et côtiers

Des mesures d'adaptation sont nécessaires pour accroître la résilience des écosystèmes côtiers et marins, ainsi que des biens et services qu'ils fournissent, aux conditions climatiques futures. Voici des exemples d'approches d'adaptation à prendre en compte pour la zone RAMOGE :

- Poursuivre les recherches sur les impacts spécifiques sur les espèces et les écosystèmes côtiers et marins hautement prioritaires afin de mieux comprendre les caractéristiques et les vulnérabilités de ces écosystèmes face aux futurs changements climatiques et définir les priorités en termes de conservation et de protection des populations, d'espèces et d'écosystèmes.
- Diffuser les résultats de la recherche à un large public afin de le sensibiliser aux effets du changement climatique sur la biodiversité.
- Renforcer la gestion du réseau d'aires marines protégées afin d'améliorer la conservation des populations, espèces et écosystèmes prioritaires identifiés comme étant menacés par les effets du changement climatique; inclure des corridors et des habitat connectés au réseau, dans la mesure du possible; mieux focaliser sur la gestion du réseau et sur la fonction de l'écosystème; mettre au point des cadres de gestion adaptative répondant aux effets identifiés du changement climatique; et améliorer la gestion et de l'application du réseau afin de réduire les effets des facteurs de stress non climatiques.
- Développer un système de surveillance complet au sein des zones protégées pour détecter les impacts du changement climatique, afin de permettre de donner une alerte précoce des impacts et des points de basculement potentiels au sein des écosystèmes et de faciliter la gestion adaptative des zones protégées.
- Elaborer des stratégies de gestion spécifiques à chaque habitat afin de concentrer les ressources sur les habitats prioritaires présentant un risque de disparition élevé et en tenant compte de la faisabilité de la translocation des habitats.
- Améliorer la connectivité entre les habitats fragmentés des dunes, y compris l'identification des corridors clés entre les zones d'habitat et la mise en œuvre d'activités de restauration ou de réhabilitation ; améliorer les cadres de gestion institutionnelle et de surveillance des corridors par



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

- l'élaboration de plans de conservation du paysage ; et impliquer les communautés locales dans les activités de restauration, de réhabilitation et de suivi.
- Gérer les herbiers et les coralligènes en dehors du réseau d'aires protégées afin de permettre aux communautés locales d'utiliser les ressources de manière durable et durable, réduisant ainsi la pression sur les ressources du réseau d'aires protégées.
  - Améliorer la planification de l'utilisation des terres en amont et la mise en œuvre d'approches de gestion intégrée des zones côtières afin de minimiser la sédimentation et la pollution des eaux côtières et leurs effets sur les écosystèmes côtiers, les herbiers, les plages de nidification des tortues de mer et d'autres écosystèmes côtiers et marins importants. Les exemples incluent le développement de zones tampons permettant une extraction limitée des ressources en amont des écosystèmes marins et côtiers sensibles.
  - Intégrer les stratégies d'adaptation à la biodiversité à celles du développement socioéconomique afin de s'assurer que les stratégies d'adaptation développées pour accroître la résilience des écosystèmes marins et côtiers tiennent compte des problèmes sociaux et incluent des éléments permettant de minimiser les facteurs de stress existants (induits par l'homme) et les effets sociaux secondaires du changement climatique sur la biodiversité (ex. migrations climatiques). Les exemples incluent le développement de programmes pour des moyens de subsistance alternatifs durables pour les communautés dépendantes des ressources, la mise en place d'incitations financières pour la conservation, le développement de sources alternatives de ressources naturelles (ex. aquaculture).



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

## Bibliographie

Action Plan for the Conservation of the Coralligenous and Other Calcareous Bio-concretions in the Mediterranean Sea (2017). *UN Environment/MAP Athens*; Greece.

Alexandrakis G., and Poulos S.E., (2014). An holistic approach to beach erosion vulnerability assessment. *Scientific Reports*; 4, 6078. doi:10.1038/srep06078.

Allemand D., Debernardi E., Gilles P., Ounais N., Theron D., and Thevenin T., (1995). La réserve à corail rouge. *Les Réserves Marines/ La Réserve à corail*, In : *AMPN. XX ans au service de la nature* ; 121–130. Association Monégasque pour la Protection de la Nature, Monaco.

Ballesteros E., (2006). Mediterranean coralligenous assemblages: a synthesis of present knowledge. *Oceanography and Marine Biology*; 44, 123-195.

BIOMAERL Team, (2003). Conservation and management of Northeast Atlantic and Mediterranean maerl beds. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*; 13, S65-S76.

Borghini M., Bryden H., Schroeder K., Sparnocchia S., and Vetrano A., (2014). The Mediterranean is becoming saltier. *Ocean Science*; 10, 693–700. <https://doi.org/10.5194/os-10-693-2014>.

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., (2006). Préservation et conservation des herbiers à *Posidonia oceanica*. *RAMOGE pub.* ; 1-202. N°ISBN 2-905540-30-3.

Brander, L.M., Bräuer, I., Gerdes, H., Ghermandi, A., Kuik, O., Markandya, A., Navrud, S., Nunes, Paulo A.L.D., Schaafsma, M., Vos, H., Wagtendonk, A., (2012). Using Meta-Analysis and GIS for Value Transfer and Scaling Up: Valuing Climate Change Induced Losses of European Wetlands. *Environ Resource Econ*; 52, 395–413. doi:10.1007/s10640-011-9535-1.

Brink P., Russi D., Farmer A., Badura T., Coates D., Förster J., Kumar R. et Davidson N., (2013). The Economics of Ecosystems and Biodiversity for Water and Wetlands. Executive Summary.

Campagne C.S., Salles J.M., Boissery P., Deter J., (2015). The seagrass *Posidonia oceanica*: Ecosystem services identification and economic evaluation of goods and benefits. *Marine Pollution Bulletin*; doi: 10.1016 / j.marpolbul.2015.05.061.

Campbell, N.A., (1996). Biology, 4th Edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company. Benjamin-Cummings Pub Co; ISBN 10: 0805319409.

Coma R., Ribes M., Serrano E., Jiménez E., Salat J., and Josep Pascual J., (2009). Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*; 106 (15), 6176-6181; <https://doi.org/10.1073/pnas.0805801106>.

Cook B.I., Anchukaitis K.J., Touchan R., Meko D.M., and Cook E.R., (2016). Spatiotemporal drought variability in the Mediterranean over the last 900 years. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*; 121 (5), 2060-2074. doi: 10.1002 / 2015JD023929.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

Costanza R., D'Arge R., De Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B., Limburg K., Naeem S., O'Neill R.V., Paruelo J., Raskin R.G., Sutton P., van den Belt M., (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*; 387, 253–260.

CSM, (2008). Les réserves sous-marines en Principauté de Monaco: de la gestion des écosystèmes à la recherche et à la sensibilisation du public. *Centre Scientifique de Monaco*.

De Groot R.S., Brander L., van der Ploeg S., Costanza R., Bernard F., Braat L., Christie M., Crossman N., Ghermandi A., Hein L., Hussain S., Kumar P., McVittie A., Portela R., Rodriguez L.C., Ten Brink P., Van Beukering P., (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units. *Ecosystem Services*; 1 (1), 50–61.

De Groot R.S., et al., (2010). Integrating the ecological and economic dimensions in biodiversity and ecosystem service valuation. In: *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*; 9-40. Edited by Pushpam Kumar P.; Earthscan, London and Washington.

De Groot R.S., Kumar P., van der Ploeg S., and Sukhdev P., (2010). Estimates of monetary values of ecosystem services. Appendix 3 in: *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. Earthscan, London, UK. ISBN: 9781849712125.

Debernardi E., and Allemand D., (1993). Zones Protegees sur le littoral de la Principaute de Monaco. *Bollettino di Oceanologia Teoretica ed Applicata*; 11, 173–182.

Ding H., Center for Environmental Economics and Management, Dept. of Economics, University of Venice and FEEM, Italy, Silvestri, S., Center for Environmental Economics and Management, Dept. of Economics, University of Venice, Italy Chiabai, A., FEEM Italy, Nunes, P. A.L.D., Center for Environmental Economics and Management, Dept. of Economics, University of Venice and FEEM, Italy, (2010). A Hybrid Approach to the Valuation of Climate Change Effects on Ecosystem Services: Evidence from the European Forests. *Sustainable Development Series*, editor: Carraro C. Nota di lavoro 50.

EUROSION, (2004). Living with coastal erosion in Europe : Sediment and Space for Sustainability. PART I - Major findings and Policy Recommendations of the EUROSION project. "Coastal erosion – Evaluation of the need for action"- Directorate General Environment European Commission.

Gambi M.C., Teixido N., (2016). Un'isola laboratorio per lo studio dell'acidificazione marina. In: Il Vulcano Ischia. *Ambiente, Rischio, Comunicazione*; 11, 46-52. ISSN 2240-1520.

Gera A., Pagès J.F., Arthur R., Farina S., Roca G., Romero J., and Alcoverro T., (2014). The effect of a centenary storm on the long-lived seagrass *Posidonia oceanica*. *Association for the Sciences of Limnology and Oceanography*; 59 (6). <https://doi.org/10.4319/lo.2014.59.6.1910>.

Hills J.G., Mader C.L., (1997). Tsunami Produced by the Impact of Small Asteroids. *Annals of the New York Academy of Sciences*; 822 (1), 381-394. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1997.tb48352.x>.

IPCC, 2014: Summary for policymakers. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

Istituto Superiore per la protezione e la ricerca ambientale (ISPRA), (2016). Una valutazione economica degli ecosistemi marini e un'analisi di scenario economico al 2020. *Rapporto 255*.

Liquete C., Piroddi C., Drakou E.G., Gurney L., Katsanevakis S., Charef A., Egoh B., (2013). Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. *PLoS One*; 8 (7), e67737. [http:// dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0067737](http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0067737).

Lucas-Borja M.E., (2013). Forest Management of Mediterranean Forests Under the New Context of Climate Change: Building Alternatives for the Coming Future. *Environmental Science, Engineering and Technology*; Nova Science Pub Inc; UK ed. edition.

Mäler K.G., Aniyar S., and Jansson A., (2008). Accounting for Ecosystem Services as a Way to Understand the Requirements for Sustainable Development. *Proceedings of the National Academy of Sciences*; 105 (28).

Mappatura della Pericolosità da Inondazione Marina nelle Aree Costiere della Regione Liguria, (2014). *Direttiva Europea n. 2007/60/CE del 23 Ottobre 2007* (D.Lgsl. 49/2010).

Martin C.S., Giannoulaki M., De Leo F., Scardi M., Salomidi M., Knittweis L., Pace M.L., Garofalo G., Gristina M., Ballesteros E., Bavestrello G., Belluscio A., Cebrian E., Gerakaris V., Pergent G., Pergent-Martini C., Schembri P.J., Terribile K., Rizzo L., Ben Souissi J., Bonacorsi M., Guarnieri G., Krzelj M., Macic V., Punzo E., Valavanis V., and Frascchetti S., (2014). Coralligenous and maërl habitats: predictive modelling to identify their spatial distributions across the Mediterranean Sea. *Scientific Reports*; 4, 5073.

Millennium Ecosystem Assessment (MEA), (2005). Ecosystem and Human Well-Being, General Synthesis. Island Press, Washington D.C.

Sanchez-Vidal A, Canals M, Calafat AM, Lastras G, Pedrosa-Pàmies R, Menéndez M, et al. (2012) Impacts on the Deep-Sea Ecosystem by a Severe Coastal Storm. *PLoS ONE* 7(1): e30395. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0030395>

Satta A, Snoussi M, Puddu M, Flayou L, Hout R., (2016). An index-based method to assess risks of climate-related hazards in coastal zones: The case of Tetouan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*; 175, 93-105. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2016.03.021>.

Satta A., (2014). An Index-based method to assess vulnerabilities and risks of Mediterranean coastal zones to multiple hazards. *Doctoral dissertation submitted in October 2014 to the Department of Economics Ca'Foscari University of Venice, Italy*.

Schroeder K., Chiggiato J., Josey S.A., Borghini M., Aracri S., and Sparnocchia S., (2017). Rapid response to climate change in a marginal sea. *Scientific Reports*; 7, 4065. doi:10.1038/s41598-017-04455-5.

TEEB, (2008). The Economics of Ecosystems and Biodiversity, Interim Report. *European Communities*; [http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb\\_report.pdf](http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb_report.pdf).

Tonin S., (2018). Economic value of marine biodiversity improvement in coralligenous habitats. *Ecological Indicators*, 85, 1121–1132.

Turco M.; Von Hardenberg J.; AghaKouchak A.; Llasat, M.C.; Provenzale A.; Trigo R.M. (2017) On the key role of droughts in the dynamics of summer fires in Mediterranean Europe. *Scientific Reports*, 7:1



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

UNDRO, (1979). Natural Disasters and Vulnerability Analysis in Report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979). Geneva: UNDRO. 49 pp.

UNEP/MAP – RAC/SPA, (2015). Proceedings of the second Mediterranean Symposium on the conservation of the Coralligenous and other Calcareous Bio-Concretions (Portoz, Slovenia, 29-30 October 2014). Bouafif C., Langar H., Ouerghi A., edits, *RSA/SPA publ, Tunis*; p. 260.

UNEP/MAP- RAC/SPA, (2012). Indicators addressing the impacts of climate change. S.B., Jose Charton J., edits, *RSA/SPA publ, Tunis*.

Van der Ploeg S., and De Groot R.S., (2010). The TEEB Valuation Database – a searchable database of 1310 estimates of monetary values of ecosystem services. *Foundation for Sustainable Development, Wageningen, the Netherlands*.

Van der Ploeg S., De Groot R.S., and Wang Y., (2010). The TEEB Valuation Database: overview of structure, data and results. *Foundation for Sustainable Development, Wageningen, the Netherlands*.

Vargas-Yáñez M., García-Martínez M.C., Moya F., Balbín R., López Jurado J.L., Serr M.a, Zunino P., Pascual J., Salate J. (2017) Updating temperature and salinity mean values and trends in the Western Mediterranean: The RADMED project. *Progress in Oceanography*; 157; 27-46

Vassallo P., Paoli C., Rovere A., Montefalcone M., Morri C., Bianchi C.N., (2013). The value of the seagrass *Posidonia oceanica*: a natural capital assessment. *Marine Pollution Bulletin*; 75, 157–167.

Ville d'Antibes Juan-les-Pins, (2012). Document d'objectifs du site Natura 2000 FR 9301573 « Baie et Cap d'Antibes – Iles de Lérins » - *Tome 1 « Diagnostics, enjeux et objectifs de conservation »*. Document final (Mars 2013) p. 278 + annexes.

Vousdoukas M. I., Mentaschi L., Voukouvalas E., Verlaan M., and Feyen L., (2017). Extreme sea levels on the rise along Europe's coasts. *Earth's Future*; 5, 304-323. <https://doi.org/10.1002/2016EF000505>.

Yáñez M., García Martínez M.C., Moya Ruiz F., Tel E., Parrilla G., Plaza F., Lavín A., García M.J., and others, (2007). Cambio climático en el Mediterráneo español. *Instituto Español de Oceanografía*; Ministerio De Ciencia e Innovación, Madrid.

## Sitographie

[http://medpan.org/fr/activites\\_principales/mapamed/](http://medpan.org/fr/activites_principales/mapamed/)

[http://www.rac-spa.org/sites/default/files/wg\\_370\\_inf03\\_cc\\_impact\\_indicators\\_en.pdf](http://www.rac-spa.org/sites/default/files/wg_370_inf03_cc_impact_indicators_en.pdf)

<https://www.aviso.altimetry.fr/en/data/products/ocean-indicators-products/mean-sea-level/products-images.html>

[www.meteofrance.com](http://www.meteofrance.com)

<http://diffusion.shom.fr/pro/amenagement/altimetrie-littorale/litto3d-paca-2015.html>

<http://www.remare.org/rete-parchi-marini-in-liguria-1/portofino>

Accord RAMOGE, [www.ramoge.org/](http://www.ramoge.org/) [contact@ramoge.org](mailto:contact@ramoge.org)

MEDSEA/Mediterranean Sea and Coast Foundation, [www.medseafoundation.org/](http://www.medseafoundation.org/) [info@medseafoundation.org](mailto:info@medseafoundation.org)



Accord RAMOGE

Mediterranean Sea and Coast Foundation

<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/natura-9/natura-2000-spatial-data/natura-2000-shapefile-1>

<http://somalit-db.epoc.u-bordeaux1.fr/bdd.php>

[http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMare/script/PubRetePuntoParam.asp?\\_ga=2.79834327.1583335077.1542098596-1625772403.1537908604](http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMare/script/PubRetePuntoParam.asp?_ga=2.79834327.1583335077.1542098596-1625772403.1537908604)

<https://geoportal.regione.liguria.it/catalogo/mappe.html?typeEvent=detailFromHome&idmap=1277&label=Atlante%20degli%20Habitat%20Marini%20sc.%201:10000%20-%202009>