

Construisons ensemble l'avenir de la Méditerranée

RAPPORT TECHNIQUE

Septembre 2016



**Application d'une méthode
pour l'évaluation des risques
côtiers du département du Var
dans le cadre du programme
d'Aménagement Côtier du Var
(PAC-VAR)**



L'étude présentée dans ce rapport a été financée par le Plan Bleu, Centre d'Activités Régionales mis en œuvre dans le cadre du Plan d'Action pour la Méditerranée du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PAM/PNUÉ) et la Convention pour la protection de l'environnement marin et du littoral de la Méditerranée (Convention de Barcelone). L'étude a été réalisée dans le cadre du projet PAC Var coordonné par le Conservatoire du Littoral, via le chef de projet national.

PRINCIPAUX AUTEURS ET RELECTEUR

Ce rapport a été écrit par :

Alessio Satta (Fondation MEDSEA)

Manuela Puddu (Fondation MEDSEA)

Claudia Dessy (Fondation MEDSEA)

Et examiné par :

Antoine Lafitte (Plan Bleu)

Citation suggérée

La présente étude peut être citée comme suit : Satta, A., Puddu, M., Dessy C., Lafitte, A. (2016). Application d'une méthode pour l'évaluation des risques côtiers du littoral varois.

Table des matières

Principaux auteurs et relecteur	1
Table des matières	2
Introduction.....	3
Changements climatiques : la gestion du risque et de l'incertitude	3
Approche méthodologique	5
La Zone d'Aléa Côtier	7
La Zone d'Aléa Côtier pour l'Erosion - ZACE.....	7
La Zone d'Aléa Côtier pour l'Inondation - ZACI.....	8
Sélection des variables.....	8
Application de la méthodologie CRI-LS au Var.....	10
Définition de la Zone d'Aléa Côtier pour le Département du VAR	10
Définition des variables	12
Calcul du forçage, de l'exposition et de la vulnérabilité	14
Cartes du risque sur l'ensemble du Département du Var.....	16
Risques dans les trois sites PO MARITIME.....	17
Conclusions	19
Références.....	20

Introduction

L'objectif général recherché par l'application de l'indice du risque côtier est d'identifier les portions du littoral varois « à risque » en termes d'impact du changement climatique sur les zones côtières et les résultats devront permettre de soutenir le processus de décisions en termes d'adaptation aux changements climatiques. Les objectifs spécifiques prévus par la mission de MEDSEA dans le cadre du PAC¹ Var sont les suivants :

- Développer une base de données regroupant les variables à considérer pour développer l'indice du risque côtier.
- Produire les résultats et les cartes du risque (cartes de vulnérabilité, exposition et forçage) à l'échelle du département du Var.
- Faire un zoom sur trois territoires varois choisis dans le cadre du projet PO Maritime, portant sur les questions d'« érosion/submersion » (Grimaud, Saint Raphael, Vieux Salins sur la commune d'Hyères).
- Rédiger un livrable présentant la méthodologie appliquée et les produits cartographiques des résultats obtenus ainsi que leur importance dans le cadre du PAC Var.

Une méthode indiciaire est l'une des méthodes les plus couramment utilisées et simples pour évaluer la vulnérabilité et les risques côtiers aux impacts des changements climatiques. L'indice fournit une base numérique simple pour le classement des sections de côtes en fonction de leur potentiel de changement. Les résultats peuvent être utilisés par les gestionnaires pour identifier les régions où les risques peuvent être relativement élevés.

Les résultats de l'indice peuvent aussi être représentés sous forme de cartes (par exemple des cartes de risques) pour mettre en évidence les régions où les forçages climatiques qui contribuent aux changements côtiers peuvent avoir le plus grand potentiel de contribuer à ces changements.

La première étape méthodologique porte sur l'identification des variables clés représentant les processus qui influencent les zones côtières à risque et l'évolution côtière en général. Le nombre et la typologie des variables clés peuvent être légèrement modifiés en fonction des besoins spécifiques ; dans sa formulation générale un indice comprend en moyenne 6 ou 7 variables.

La seconde étape porte sur la quantification des variables clés. Bien que différentes méthodes soient disponibles pour cette étape, la quantification est généralement basée sur la définition des notes semi-quantitatives selon une échelle de 1 à 5.

Dans la troisième étape, les variables clés sont agrégées en un seul indice.

Pour ce travail, nous utilisons une échelle spatiale locale et un indice côtier des risques pour l'échelle locale, que nous appelons CRI-LS², que nous appliquons au cas de la zone côtière du Département du Var.

En ce qui concerne la collecte des données, celles-ci ont été identifiées à partir de diverses sources sur la recommandation du Plan Bleu et du concours du concours du chef de projet national. Malheureusement, il n'a pas été possible de trouver des données pour toutes les variables prévues par la méthodologie. Pour cette raison, certaines variables comme « la pente côtière » ou encore « l'état de santé des écosystèmes » ne font pas partie de l'application de l'indice sur les zones côtières du Var.

CHANGEMENTS CLIMATIQUES : LA GESTION DU RISQUE ET DE L'INCERTITUDE

Les risques liés aux changements climatiques sont vastes et pourraient avoir d'importantes répercussions économiques, politiques et sociales. La fondation MEDSEA est profondément préoccupée par ces questions et soutient les efforts pour faire face aux risques climatiques. Basé sur le travail de scientifiques du climat, des experts en matière de politique climatique, et notre propre expertise dans la gestion de risque et d'incertitude, nous considérons que :

1. **Les changements climatiques sont un problème de gestion des risques.** 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.

¹ Les projets PAC (programmes d'aménagement côtiers) sont destinés à mettre en œuvre de manière concrète le Protocole relatif à la Gestion Intégrée des Zones Côtières de la Méditerranée, avec le soutien et sous la coordination du CAR PAP.

² Coastal Risk Index – Local Scale

2. **Le coût de retard est une action forte et rapide sur les émissions et permettra d'améliorer les options futures.** Le défaut de prendre des mesures en temps opportun sur les émissions est susceptible de conduire à des mesures correctives plus coûteuses et perturbatrices à une date ultérieure, ainsi que plus tôt et les impacts climatiques plus sévères. Les réductions des émissions mondiales permettent également plus de temps et une adaptation plus efficace aux futurs impacts climatiques.
3. **L'évaluation continue et la gestion dynamique devraient être des aspects centraux de la politique climatique.** 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.
4. **Une action est nécessaire pour remédier aux défaillances du marché.** 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.
5. **Les décideurs doivent tenir compte des multiples délais.** 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.

La fondation MEDSEA reconnaît le grave risque que les changements climatiques font peser sur la société. Les scientifiques sont idéalement placés pour travailler avec les gouvernements, les entreprises et les autres parties prenantes pour aider à mieux comprendre les conséquences à long terme des changements climatiques, et aider à développer des options politiques pour répondre à ces risques. MEDSEA continuera à travailler avec les parties prenantes et continuera à contribuer au débat public sur les changements climatiques dans les années à venir.

Approche méthodologique

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. Vu le développement continu des activités industrielles et la diffusion du modèle de consommation occidentale partout dans le monde, le scénario le plus communément envisagé pour 2100 est celui où la concentration en CO₂ aura doublé par rapport à l'ère préindustrielle pour s'élever à 560 ppm. La température de la Terre pourrait s'élever de 4°C en moyenne d'ici à 2100, un scénario catastrophe.

En d'autres termes, la queue de la distribution de probabilité serait conduite par la politique sur le changement climatique et la première question serait « à quel point pourrait-il obtenir » ? Telle est la question qui est posée quand les scientifiques tentent de modéliser le changement climatique.

Le pire des cas pour le changement climatique est un jugement de valeur qui exige des discussions entre experts et *stakeholders* pour aboutir à un consensus.

À des niveaux élevés d'augmentation de la température moyenne mondiale la science suggère que les impacts négatifs pourraient dégénérer.

Les scénarios qui pourraient être qualifiés de « pire » sont relativement faciles à prévoir, en particulier ils voient le monde comme un réseau très complexe de systèmes interconnectés. Les problèmes liés à l'énergie, l'eau, la disponibilité de la nourriture et au transport dans tous les systèmes ont la capacité de créer des crises plus larges s'ils devaient être perturbés. Nous soutenons qu'une définition consensuelle du « pire », comme un scénario à éviter, si possible, serait utile dans l'élaboration de la future politique climatique. Diverses définitions pourraient être construites. Le rapport « Turn Down the Heat » (World Bank, 2013) examine l'effet d'une hausse moyenne mondiale de 4°C de la température où les rendements des activités agricoles diminuent, des changements dans la disponibilité de l'eau, les maladies se déplacent vers de nouvelles latitudes, et le niveau des mers monte. Fondamentalement, il déclare que, compte tenu de l'incertitude dans l'échelle des impacts, il n'y a pas de certitude que l'adaptation à 4°C soit possible. Le GIEC a élaboré une série de scénarios « Representative Concentration Pathway (RCP) » qui explorent les voies d'émission de gaz à effet de serre à partir du pire de scénario, où aucune mesure de mitigation n'est prise, par le biais de « scénarios de stabilisation du climat » conçus pour être compatibles avec l'objectif de 1,5°C (selon les accords de la COP21). Les voies d'émission sont un facteur de risque clé du changement climatique et ces scénarios sont une première étape importante dans la compréhension de la probabilité de différents scénarios d'élévation de la température sur un horizon à long terme.

Le 5^{ème} rapport du GIEC présente plusieurs nouveautés en termes de méthodologie ou d'attribution des responsabilités des phénomènes climatiques. Il réaffirme aussi que l'augmentation de la concentration des gaz à effet de serre pourrait entraîner des changements majeurs au niveau des températures, du niveau des mers, ou de la fonte des glaces. La conclusion est très claire : les activités humaines, notamment l'usage des énergies fossiles, a conduit à une hausse exceptionnelle de la concentration des gaz à effet de serre transformant le climat à un rythme jamais vu par le passé.

Le lien entre les activités humaines et l'accroissement des températures constaté depuis 1950 est extrêmement probable. Le niveau de certitude a augmenté : il était jugé très probable lors du rapport de 2007 et seulement probable dans le 3^{ème} rapport en 2011.

Il existe quatre scénarios dans ce 5^{ème} rapport : RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 et RCP8.5. Le scénario RCP 2.6, qui implique de fortes réductions d'émissions des GES par la communauté internationale, est une nouveauté de ce rapport. Le RCP8.5 est le plus pessimiste, mais c'est un scénario probable car il correspond à la prolongation des émissions actuelles. Afin de réduire les incertitudes dans les projections climatiques, le GIEC a totalement changé sa méthode pour réaliser ses scénarios d'émission. Les scénarios précédents se basaient sur des postulats socio-économiques (par exemple le postulat d'une société qui s'appuie massivement sur le charbon pour sa production d'énergie), pour en conclure différents niveaux d'émissions de gaz à effet de serre possibles. Trois des quatre trajectoires analysées par le GIEC conduisent en 2100 à une hausse des températures de plus de 2 degrés par rapport à l'ère préindustrielle (1850). Selon la trajectoire la plus optimiste proposée par le GIEC, il nous reste une chance de maintenir la hausse des températures sous le seuil de 2°C en 2100, par rapport au niveau de 1850. Dans la trajectoire la plus pessimiste (celle qui se produira si on n'agit pas en faveur du climat en limitant nos émissions de gaz à effet de serre), les températures pourraient augmenter jusqu'à 5,5°C. Dans ce scénario du pire, les vagues de chaleur qui arrivent aujourd'hui une fois tous les 20 ans vont doubler ou tripler de fréquence. Il y aura ainsi plus de vagues de températures extrêmes (chaudes et froides) au fur et à mesure de la hausse des températures. Le rapport prévoit une hausse du niveau des mers, tous scénarios confondus, située entre 29 et 82

centimètres d'ici la fin du 21^{ème} siècle (2081-2100). Ce rapport a revu à la hausse l'impact de la fonte du Groenland et de l'Antarctique sur l'élévation du niveau des mers, grâce à de nouvelles modélisations et aux observations récentes.

Quel est le niveau de risque correspondant ? Sommes-nous prêts à tolérer une hausse de température très élevée ? Un processus de changement climatique est lent et incertain et il existe une incertitude sur la façon dont le climat va réagir. La science se développe rapidement et la compréhension du système climatique avance mais il existe encore des domaines de connaissances incomplets. Par exemple, la compréhension scientifique de la sensibilité du climat de la Terre et les évaluations relatives à des changements dans le cycle du carbone est encore en développement. Il y a aussi un haut degré d'incertitude lié à la façon dont le changement climatique va interagir avec les systèmes sociaux, économiques et financiers. Ces systèmes sont complexes et composé d'un grand nombre d'éléments interdépendants, qui interagissent. Les risques qui pourraient survenir sont beaucoup moins faciles à évaluer que les risques directs pour l'environnement naturel, mais sont potentiellement graves. Par exemple, les impacts du changement climatique sur les populations urbaines côtières pourraient conduire à un changement généralisé des comportements, tels que la migration et la rétroaction résultant des boucles dans l'économie. La politique doit tenir compte des principales zones d'incertitude et envisager les scénarios les plus préoccupants et l'impact potentiel. Il est important, que les nouvelles données et les connaissances deviennent disponibles au fil du temps et que celles-ci soient intégrées dans les politiques d'adaptation. Les modèles de risque sont inévitablement des simplifications et approximations, par conséquent il n'existe pas qu'un seul modèle pour l'évaluation des risques liés aux changements climatiques. Dans l'ensemble, la plupart des modèles sont susceptibles d'être biaisé car ils ont tendance à omettre un large éventail d'impacts qui sont difficiles à quantifier.

En conséquence les modèles ont tendance à sous-estimer l'incertitude, de sorte que la probabilité d'avoir +4°C ou +6°C de réchauffement pourrait en fait être plus élevée que l'estimation des modèles. L'élaboration des politiques climatiques au cours des 30 dernières années a beaucoup compté sur les modèles d'évaluation intégrée qui tentent de combiner les effets climatiques physiques avec des modèles sociétaux et économiques. Les faiblesses de cette modélisation sont bien connues et proviennent de la quasi-impossibilité des systèmes de modélisation de grande complexité à modéliser les impacts sur les zones côtières au niveau local. En fin de compte, aucun type d'analyse ne se traduira par un modèle « parfait » ou une réponse « parfaite ». MEDSEA estime que les politiques d'adaptation, surtout celles des zones côtières, doivent être guidées par des objectifs basés sur un niveau de risque équivalent au pire des scénarios d'émissions. Il est important que les décideurs comprennent les conséquences d'ignorer des risques élevés même si associées à une faible probabilité. Bien qu'il soit une question de jugement si une faible probabilité mérite d'être examinée, les décideurs ne peuvent évaluer le degré de risque par la simple compréhension de la gamme complète des scénarios - en particulier les pires scénarios - afin de comprendre pleinement les conséquences d'une action donnée ou d'une inaction.

Dans cet objectif nous proposons l'application d'un indice de risques côtiers multi-échelle appliqué à l'échelle locale, le CRI-LS, comme développé par Satta et al. (2016). Le CRI-LS 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.

L'indice CRI-LS est appliqué directement à la « zone d'aléa côtier » définie comme la zone où le risque peut potentiellement se produire dans le pire des scénarios des changements climatiques (estimé pour l'horizon 2100).

L'application du CRI-LS pour la région côtière du Var permettra un classement du risque relatif de la zone définie pour l'étude, la zone d'aléa, en ce qui concerne les risques côtiers potentiels générés et / ou exacerbés par le forçage climatique et non climatique. L'objectif de la méthodologie CRI-LS est de fournir un outil utile pour la planification et la gestion côtière au niveau local. En particulier, les cartes produites permettent d'identifier les niveaux de risque non seulement pour le littoral mais aussi pour les zones internes potentiellement touchées par les inondations. La carte locale des risques permet de visualiser le classement qualitatif des risques ; toutes les couches de données des variables se sont vues attribuer un score de risque et une pondération.

Les variables nécessaires pour l'application de l'indice CRI-LS pour toute la zone côtière du département du Var sont présentées dans le tableau 1, p10.

La méthode CRI-LS est articulée autour des quatre étapes suivantes :

1. Définition de l'unité côtière pour l'application de l'Indice ou Zone d'Aléa Côtier ;
2. Définition des variables associées à chaque sous-indice et les scores des classes de variables ;
3. Agrégation des variables, calcul des trois sous-indices et de l'indice final ;
4. Construction des cartes de risques.

LA ZONE D'ALEA COTIER

La surface d'application du CRI-LS est la zone côtière où les risques se produisent. En ce sens, il est nécessaire d'explorer l'extension des effets des dangers naturels sur les zones côtières concernées dans le pire des scénarios futurs. Il faut comprendre les limites géographiques et géomorphologiques des effets de chaque risque. La « zone d'aléa côtier » doit être définie par une évaluation technique menée par un spécialiste côtier, et même s'il ne peut pas dire exactement ce qu'il se passera dans l'avenir, il doit mettre 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 « zone d'aléa côtier » est définie comme la zone côtière touchée par la survenance de l'effet des aléas naturels, qui a le potentiel de causer des dommages ou des pertes des écosystèmes naturels, des bâtiments et des infrastructures. En ce qui concerne ce point, l'article 8 du protocole GIZC de la Convention de Barcelone prévoit expressément la définition des zones de retrait pour les régions côtières de la Méditerranée, considérée comme la limite en deçà de la zone tampon derrière la côte, au-delà de ce qui est défini comme le niveau de risques acceptable produit par l'aléa naturel. Cette zone tampon est la zone où des restrictions sur les constructions et autres activités doivent être appliquées par rapport à un besoin spécifique pour la planification et la gestion de la zone côtière.

Prenant en considération le fait que les principaux aléas qui agissent en Méditerranée sont l'érosion et les inondations cela signifie que la zone des aléas côtiers (ZAC) résulte de la superposition de la « zone d'aléa pour l'érosion côtière (ZACE) » et de la « zone d'aléa pour l'inondation côtière (ZACI) ». La zone de risque potentiel à de multiples aléas est la résultante de la superposition des couches de la zone de danger définie pour chaque aléa.

$$ZAC = ZACE + ZACI$$

Où

ZAC = Zone des Aléas Côtiers

ZACE = Zone d'Aléa Côtier pour l'Erosion

ZACI = Zone d'Aléa Côtier pour l'Inondation

La ZACI est calculée à partir de la valeur de la ZACE car nous considérons que cet espace sera totalement érodé en 2100. Par conséquent la zone d'expansion de l'inondation commence à partir de la limite supérieure de la zone d'aléa de l'érosion.

La Zone d'Aléa Côtier pour l'Erosion - ZACE

Dans la littérature technique, il y a quelques définitions opérationnelles pour la Zone d'Aléa pour l'Erosion Côtière. Pour la présente étude, nous adoptons les définitions proposées par Tonkin et Taylor LTD (2004) applicables aux plages. La largeur des zones d'aléa, Hz, est définie par une formule simple comme suit :

$$Hz = ST + SE + DS + SL + LT$$

Où :

ST = fluctuations horizontales à court terme (m), égale à deux fois l'écart type de mouvement annuel des littoraux à chaque profil mesuré à 1 m au-dessus du niveau moyen de la mer.

SE = la réponse du littoral, en termes d'érosion, à une tempête (m), égale à l'écart type de mouvement annuel des berges à chaque profil mesuré à 1 m au-dessus du niveau moyen de la mer.

DS = distance de plus de 1 m au-dessus de niveau moyen de la mer à la plage de dunes actives, qui est supposé rester constante dans la largeur, même avec le recul du littoral.

SL = l'ampleur du recul du littoral en raison d'une éventuelle élévation du niveau de la mer accélérée basée sur une approche de la règle de Bruun excluant la déduction pour le parent modifié du changement local de l'élévation du niveau de la mer en raison de l'activité tectonique.

LT = le taux à long terme du mouvement de la rive horizontale (m/y) en tenant compte de l'abrasion, des pertes « cross-shore » et « long-shore » basé sur la tendance la plus probable à long terme en fonction des données de profil de plage ou sous-entendus par un jugement d'expert à partir de photographies aériennes

Afin de fournir une échelle temporelle appropriée pour la planification côtière, la ZACE doit être évaluée sur un horizon temporel de 100 ans et les facteurs de sécurité appropriés doivent être incorporés dans chaque composant individuel de l'équation.

La Zone d'Aléa Côtier pour l'Inondation - ZACI

Les inondations côtières sont rarement causées par un seul facteur mais bien dues à une combinaison du niveau de la marée, des ondes de tempête et des conditions d'ondes (qui dans certains cas, sont exacerbées les crues des rivières). Ces facteurs sont généralement corrélés, mais très rarement un niveau extrême de la marée haute coïncide 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 zone d'aléa d'inondations, 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 du niveau de la mer extrême. La pénétration à l'intérieur des terres de ce niveau d'eau maximal est calculée par la formule de Hills et Mader (1997). La zone d'aléa d'inondations côtière (ZACI) commence à partir de la limite haute de la ligne de retrait de l'érosion qui va représenter la nouvelle ligne de rivage tel que définis pour la zone d'aléa de l'érosion (ZAEC). Nous devons définir la hauteur totale de l'eau (TWH) dans des conditions extrêmes. Ainsi, nous proposons la formule suivante (Satta, 2014) :

$$TWH = SLR100 + SS + RU + FI + U$$

Où

SLR100 = Elévation globale du niveau de la mer en cm d'ici 2100 comme prévu par le 5^{ème} rapport (AR5) du GIEC (2013). Nous adoptons un niveau de précaution de hausse du niveau de la mer = 1,5 m pour le 2100.

SS = Les ondes de tempête mesurées pour une période de retour de 100 ans. La mesure peut être récupérée à partir des études récentes comme par exemple celle de Conte & Lionello (2014).

RU = la course de la vague, qui équivaut à 70% de la hauteur significative des vagues.

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. Une fois que toute cette eau a atteint la mer, les niveaux d'eaux en particulier près des deltas et dans les baies vont augmenter localement. Le paramètre FI mesure la hauteur des précipitations maximum par jour avec une période de retour de 100 ans.

U = facteur équivalent à 10% de l'incertitude.

Nous adaptons la formule de Pignatelli suivante pour calculer le X_{max} .

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

Prenant en considération le fait que cette valeur est mesurée à partir de la limite haute de la ligne de retrait des zones d'aléa, cela signifie que la zone à risque d'inondation est constituée par la limite supérieure des zones d'aléa de l'érosion ainsi que par la distance X_{max} : $ZAIC = ZAEC + X_{max}$

SELECTION DES VARIABLES

L'une des principales caractéristiques du CRI-LS est le nombre de variables qui décrivent le contexte local et en particulier la vulnérabilité des zones d'aléa. On pourrait faire valoir que les plus nombreuses variables décrivant les sous-indices plus corrects seront les valeurs résultantes de l'indice des risques côtiers. Cela ne vaut pas dans un sens absolu, puisque la plupart des variables utilisées peuvent être fortement corrélées, et il est ensuite possible de simplifier le nombre total des variables eux-mêmes (McLaughlin et Cooper, 2010). Pour le calcul des CRI-LS, il est nécessaire de choisir des variables décrivant les groupes de trois sous-indices : forçant, vulnérabilité et exposition : 6 variables pour le sous-indice Forçant, 10 variables pour la Vulnérabilité et 2 variables pour l'Exposition pour un total de 18 variables. Les classes font référence à Satta et al (2016). Une échelle de 1-5 est choisie, avec 5 contribuant le plus fortement au risque global et 1 contribuant moins. L'échelle 1-5 qui a été utilisé pour chaque variable, standardise le système de notation et permet aux variables mesurées dans différentes unités de se combiner mathématiquement. Les variables et les classements connexes sont présentés dans le Tableau 1.

Tableau I. Variables utilisées pour le CRI-LS

FORÇAGE		Acronyme	Unité
F1	Élévation du niveau de la mer	SLR	mm/a
F2	Hauteur Significative des vagues	SWH	cm
F3	Moyenne annuelle de précipitations maximales quotidienne	MDP	mm/j
F4	Sécheresses	DRO	mm
F5	Croissance de la population	PGR	%
F6	Arrivées de touristes	TOUR	%
VULNÉRABILITÉ		Acr.	Unité
V1	Géomorphologie	LF	
V2	Pente côtière	SLO	%
V3	Rugosité (numéro de Manning)	LR	n
V4	Modification historique du littoral	HSC	%
V5	Élévation	ELE	m
V6	Distance de la côte	D	m
V7	Régulation du débit de la rivière	RFR	
V8	Etat des écosystèmes	EH	
V9	Niveau de formation	EDU	%
V10	Âge de la population	P65	%
EXPOSITION		Acr.	Unité
E1	Couverture du sol	LC	
E2	Densité de population	PDE	

Application de la méthodologie CRI-LS au Var

La première phase de la mise en œuvre du CRI-LS pour les zones côtières du Var fut la recherche de données nécessaires pour construire les zones d'aléa côtière et les variables. Grâce à la coordination du chef de projet national, il a été possible de trouver les principales bases de données existantes qui sont répertoriées dans le Tableau 2. En ce qui concerne certaines données manquantes la fondation MEDSEA a impliqué l'Université de Gênes qui a fourni une série chronologique à partir de laquelle il a été possible de définir la hauteur significative des vagues (SWH 95 percentile).

Tableau 2. Source des données

Base des données	Source
Le SIG du CD du Var	http://statique.sigvar.org/
Le catalogue du SHOM	http://www.shom.fr/cata/
Le Geoportail du CRIGE de la Région PACA	http://www.crigepaca.org/geoportail.html
Risk PACA BRGM	http://riskpaca.brgm.fr/
Etudes/Recherches du CEREGE	Brunel, 2010
Météo France	www.meteofrance.com
Eau France – Bassin Rhône-Méditerranée (Directive 2007/60/CE "Inondation")	http://www.rhonemediterranee.eaufrance.fr/gestion/inondations/cartes.php#tableau
Plan Submersions Rapide (MEEM)	http://www.developpementdurable.gouv.fr/IMG/pdf/Le_plan_submersion_rapide.pdf
Candhis (Centre d'Archivage National de Données de Houle In-Situ)	http://candhis.cetmef.developpement-durable.gouv.fr/
INSEE	http://www.insee.fr/fr/bases-de-donnees/
Cerege	http://www.cerege.fr/
MEDTRIX	http://medtrix.fr/
Université de Gênes	

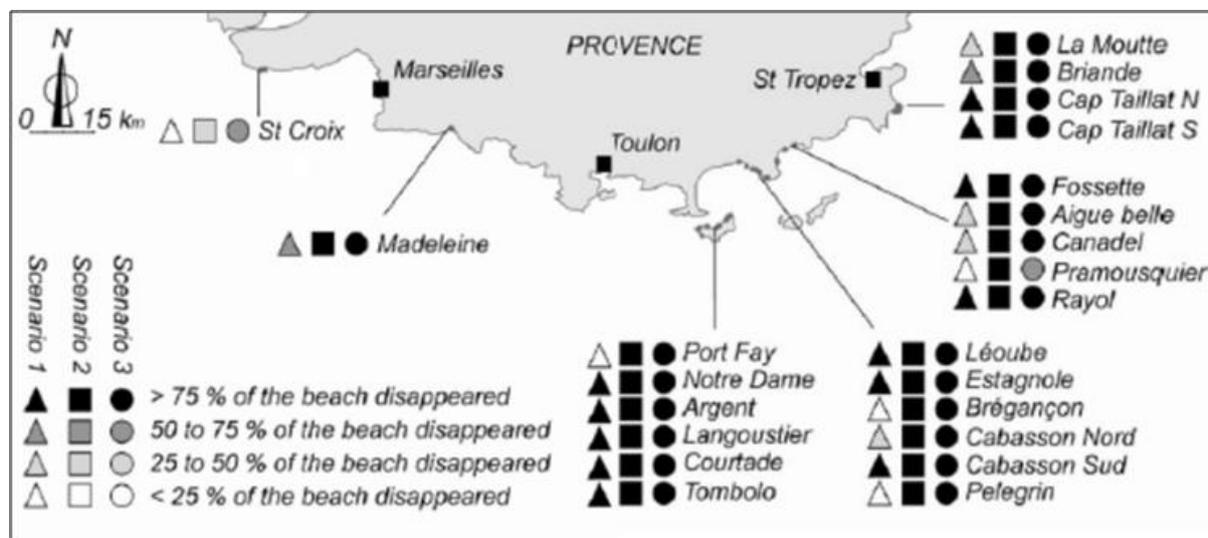
Dans les paragraphes suivants est décrite la construction de la ZAC, le choix des variables ainsi que l'application des formules pour calculer l'indice et construire les cartes du risque.

DEFINITION DE LA ZONE D'ALEA COTIERE POUR LE DEPARTEMENT DU VAR

Comme expliqué précédemment, la ZAC se compose de la superposition de la zone d'aléa érosion avec celle de l'inondation en considérant que le fait que la zone d'inondation est calculée à partir de la limite supérieure de la zone d'érosion.

En ce qui concerne l'érosion côtière, plusieurs études existent. Pour nos travaux, nous avons choisi, l'étude de Cédric Brunel (2010) concernant les effets de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes sur l'évolution de "plages à poches" de la Méditerranée Française. Selon Brunel, le niveau marin est le principal facteur de recul de la ligne de rivage et du transfert de sédiments depuis la côte vers le large, l'accélération prévue de l'élévation du niveau marin devrait jouer un rôle de plus en plus important dans la disparition progressive de ces plages qui ne formeront plus qu'un estran étroit appuyé sur des microfalaises d'ici 2100. Dans son étude, Brunel utilise trois scénarios différents pour définir la position de la ligne de rivage pour 2100. Les valeurs d'élévation future de Brunel sont basées sur les prévisions du GIEC (2007) : le niveau de la mer devrait augmenter entre les années 1980-1999 et la fin de ce siècle (2090-2099), dans le cadre du SRES A1FI, de 0,26 à 0,59 m. Selon ces scénarios, entre 12 et 21 plages auront perdu au moins 75 (\pm 10) % de leur surface d'ici 2100 (Figure 1).

Figure 1. Vulnérabilité des plages de poche pour les trois scénarios (Brunel, 2010)



Selon des prévisions plus récentes du GIEC (2013) pour le scénario RCP8.5, la hausse du niveau de la mer pour l'année 2100 serait de 0,52 à 0,98 m. En ce qui concerne la présente étude, basée sur les travaux de Brunel et intégrant les dernières projections du GIEC concernant l'augmentation du niveau de la mer, nous considérons que toutes les plages seraient érodées en l'absence d'intervention humaine (pire scénario). Par conséquent la ZAEC sera déterminée par le substrat rocheux ou artificiel non-érodable en amont des mêmes plages.

Pour ce qui concerne la Zone d'Aléa Inondation pour appliquer la formule 2, il est nécessaire de calculer le TWH (la Hauteur Totale des Eaux) : $TWH = SLR100 + SS + RU + FI + U$

Dans le Tableau 3, les valeurs définies pour chaque composante du TWH sont présentées.

Tableau 3. Calcul des composantes du TWH

Composante	Définition	Source
SLR100	Elévation globale du niveau de la mer en cm d'ici 2100	Valeur de précaution proposée dans le AR5 (GIEC, 2013). SLR = 1,5 m.
SS	Les ondes de tempête mesurées pour une période de retour de 100 années.	La mesure peut être récupérée à partir des études récentes (Conte et Lionello, 2014). SS = 0,2 m
RU	Vague Run Up est de 70% de hauteur significative des vagues	Pour SWH nous utilisons le SWHx95p calculé avec les données de l'Université de Gênes (4 m). RU = 2,8 m
FI	C'est la hauteur des précipitations sur une onde de tempête qui peut causer une augmentation des niveaux d'eau de la rivière vers l'intérieur des terres. Une fois que toute cette eau coule en aval et atteint la mer, les niveaux d'eaux locaux, en particulier près des deltas et dans les baies, vont augmenter. Le paramètre FI mesure la hauteur des précipitations maximum par jour avec une période de retour de 100 années.	Source : Météo France Période de retour = 100 ans Cumul = 24h FI = 0,248 m
U	Facteur équivalent à 10% de l'incertitude	U = 0,478

La valeur de TWH est 5,2228 m tandis que celui de X_{max} est calculé avec la formule suivante :

$$X_{max} = (TWH^{4/3} / n^2) * k$$

Où N = rugosité et K un coefficient égal à 0,06 pour les inondations marines.

En appliquant le principe de précaution, nous adoptons une valeur de « n » égale à 0,025 et équivalente aux surfaces planes artificielles (par exemple les routes).

$x_{max} = 865 \text{ m}$

La Zone d'Aléa pour toute la zone côtière du Département du Var est représentée dans la Figure 2.

Figure 2. Zone d'Aléa Côtère pour le Département du Var



DEFINITION DES VARIABLES

Les variables ont été définies à partir des sources citées dans le Tableau 4. Dans le même tableau sont indiqués les poids choisis pour chaque variable.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, il n'a pas été possible de recueillir les données pour l'ensemble des 18 variables prévues par la méthode CRI-LS. En particulier, il n'a pas été possible de définir les variables suivantes : moyenne des précipitations maximales annuelles ; pente côtière ; régulation de débit des rivières ; état des Ecosystèmes.

Pour l'application du CRI-LS au Var 14 variables ont été utilisées. Parmi les 4 variables manquantes, les plus importantes en termes de pondération relative sont certainement la « pente côtière », qui permet de mieux définir les caractéristiques de la côte, et donc sa sensibilité et l'« état des écosystèmes », seule variable qui permet de définir la résilience naturelle en fonction de l'impact des aléas (érosion et inondations). L'artificialisation de la côte du Var, et la caractéristique de ses plages, rend l'importance relative de cette variable moins significative. Dans une logique d'adaptation aux impacts du changement climatique, à travers le CRI-LS, il serait possible d'évaluer le bien fait de l'augmentation de la surface naturelle dans les zones côtières (par exemple La création de nouvelles dunes) pour augmenter la résilience de la côte et donc de réduire les risques.

En ce qui concerne l'attribution de la partition, il faut distinguer deux catégories de variables : celles qui sont caractérisées par des valeurs enregistrées au niveau des communes, tels que la "Croissance de la population", "Arrivées de touristes", "Niveau de formation", « Âge de la population », "Densité de la population" et les autres qui se réfèrent à des parcelles homogènes (autre niveau d'unité administrative).

Pour la première catégorie, un score constant a été attribué à toutes les cellules qui se situent dans les limites administratives communales, tandis que pour les autres, le score est attribué aux parcelles individuelles. Dans cette deuxième catégorie entrent les variables « Géomorphologie » et « Modification historique du littoral » qui décrivent seulement les caractéristiques physiques de la côte donc les scores varient uniquement dans la première ligne des cellules de la côte. Pour la zone restante de cellules de risque, i une valeur neutre a été attribuée.

Il convient de souligner que les valeurs de référence de la note de 5 classes ont été définies, pour chaque variable, sur la base des caractéristiques spécifiques de la zone d'étude. Il s'agit d'un des aspects qui caractérisent le CRI-LS et qui implique que les résultats obtenus par l'application de cette méthode ne sont pas comparables entre les différentes zones géographiques d'étude.

FORMULES

FORÇAGE CÔTIER

$$[(F1 * 0,3 + F2 * 0,25 + F3 * 0,05 + F4 * 0,2 + F5 * 0,2) - 1] / 4$$

VULNÉRABILITÉ CÔTIÈRE

$$[(V1 * 0,2 + V2 * 0,15 + V3 * 0,15 + V4 * 0,15 + V5 * 0,15 + V6 * 0,1 + V7 * 0,1) - 1] / 4$$

EXPOSITION CÔTIÈRE

$$[(E1 * 0,7 + E2 * 0,3) - 1] / 4$$

Tableau 4. Sources de données et poids choisis pour les variables CRI-LS

FORÇANT ou FORÇAGE		Unité	1	2	3	4	5	Poids	Sources
F1	Élévation du niveau de la mer	mm/a	F1 ≤ -5	-5 < F1 ≤ 0	0 < F1 ≤ 5	5 < F1 ≤ 10	> 10	30%	EEA, 1992-2013
F2	Hauteur Significative des vagues	cm	F2 ≤ 50	50 < F2 ≤ 150	150 < F2 ≤ 250	250 < F2 ≤ 350	F2 > 350	25%	Université de Gênes http://www.dicca.unige.it/meteocean/hindcast.html
F3	Sécheresse	mm	F3 > 36	36 > F3 > 12	11 > F3 > -12	-13 > F3 > -36	F3 < -36	5%	NOAA, 2011
F4	Croissance de la population	%	F4 ≤ 0,1%	0,1% < F4 ≤ 0,5%	0,5% < F4 ≤ 1%	1% < F4 ≤ 2%	F4 > 2%	20%	INSEE, 1982-2013 - Elaborée par MEDSEA
F5	Arrivées de touristes	%	F5 < 0 %	0 % < F5 ≤ 1%	1% < F5 ≤ 5%	5 % < F5 ≤ 10%	> 10%	20%	INSEE
								100%	
VULNÉRABILITÉ		Unité	1	2	3	4	5	Poids	Source
V1	Géomorphologie		Roches Dures	Roches Tendres	Deltas, Estuaires et plages de galets	Rivages de sable soutenus par le substratum rocheux ou façade artificielle	Rivages de sable et Pleines d'Eau	20%	Google Earth, 2016 e carta geologica - Elaborée par MEDSEA
V2	Rugosité (numéro de Manning)	n	n ≥ 0,06	0,06 > n ≥ 0,04	0,04 > n ≥ 0,03	0,03 > n ≥ 0,02	n < 0,02	15%	Corine Land Cover, 2006 e Manuale di Ingegneria Costiera, 1976 - Elaborée par MEDSEA
V3	Modification historique du littoral	%	V3 ≥ 30% (accrétion)	30% > V3 ≥ 10% (accrétion)	10% > V3 ≥ -10% (stable)	-10% > V3 ≥ -30% (érosion)	V3 < -30% (érosion)	15%	Shape file forniti da PB e Conserv. - Elaborée par MEDSEA
V4	Élévation	m	6 > V4 ≥ 4,8	4,8 > V4 ≥ 3,6	3,6 > V4 ≥ 2,4	2,4 > V4 ≥ 1,2	V4 < 1,2	15%	Immagini altimetriche progetto Litto3D® - PACA 2015 (http://diffusion.shom.fr/)

									multi-product/product/configure/id/136) - Elaborée par MEDSEA
V5	Distance de la côte	m	850 > V5 ≥ 420	420 > V5 ≥ 220	220 > V5 ≥ 100	100 > V5 ≥ 40	V5 < 40	15%	Elaborée par MEDSEA
V6	Niveau de formation	%	V6 ≥ 60	60 > V5 ≥ 44	44 > V5 ≥ 28	28 > V5 ≥ 10	V5 < 10	10%	INSEE
V7	Âge de la population	%	V7 ≤ 3	3 < V7 ≤ 8,5	8,5 < V7 ≤ 15	15 < V7 ≤ 20	V7 > 20	10%	INSEE
								100%	
EXPOSITION		Unité	1	2	3	4	5	Poids	Source
E1	Couverture du sol		Espaces ouverts avec peu ou pas de végétation	Zones humides et plans d'eau	Forêts et zones semi-naturelles	Zones agricoles	Surfaces artificielles et plages urbaines	70%	Corine Land Cover, 2006
E2	Densité de population		E2 < 25	25 < E2 ≤ 50	50 < E2 ≤ 100	100 < E2 ≤ 250	E2 > 250	30%	INSEE
								100%	

CALCUL DU FORÇAGE, DE L'EXPOSITION ET DE LA VULNERABILITE

L'application du CRI-LS à la zone côtière du Var a conduit à un classement du risque relatif de la zone définie pour l'étude, la zone d'aléa côtier, par rapport aux risques côtiers 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 risque et un poids ont été assignés à toutes les couches de données. L'équation CRI-LS, avec des variables pondérées, a été appliquée à chaque cellule de la zone d'aléa côtier (100m x 100m). Les cartes obtenues pour les trois sous-indices sont représentées sur la Figure 3, la Figure 4 et la Figure 5.

Dans la figure 3, nous pouvons observer que la valeur du Forçage est très variable dans les différentes zones. Considérant que les valeurs de hausse du niveau de la mer varient très peu dans une zone côtière-marine si limitée, les principales différences sont dues à des hauteurs de vagues significatives et aux différences liées à la composante non-climatique du forçage côtier qui est très variable sur le littoral varois. Les zones les plus exposées sont celles de la côte Est.

En ce qui concerne l'exposition côtière (Figure 4), la plupart des cellules incluses dans la « zone d'aléa », sont caractérisées par une utilisation du sol qui est associée à une forte densité de population.

En dehors de quelques cellules caractérisées par la couverture terrestre "zones nues", et une faible densité (en vert), toute la région montre des valeurs d'exposition de fort à très fort.

Figure 3. Carte du Forçage et de l'Exposition

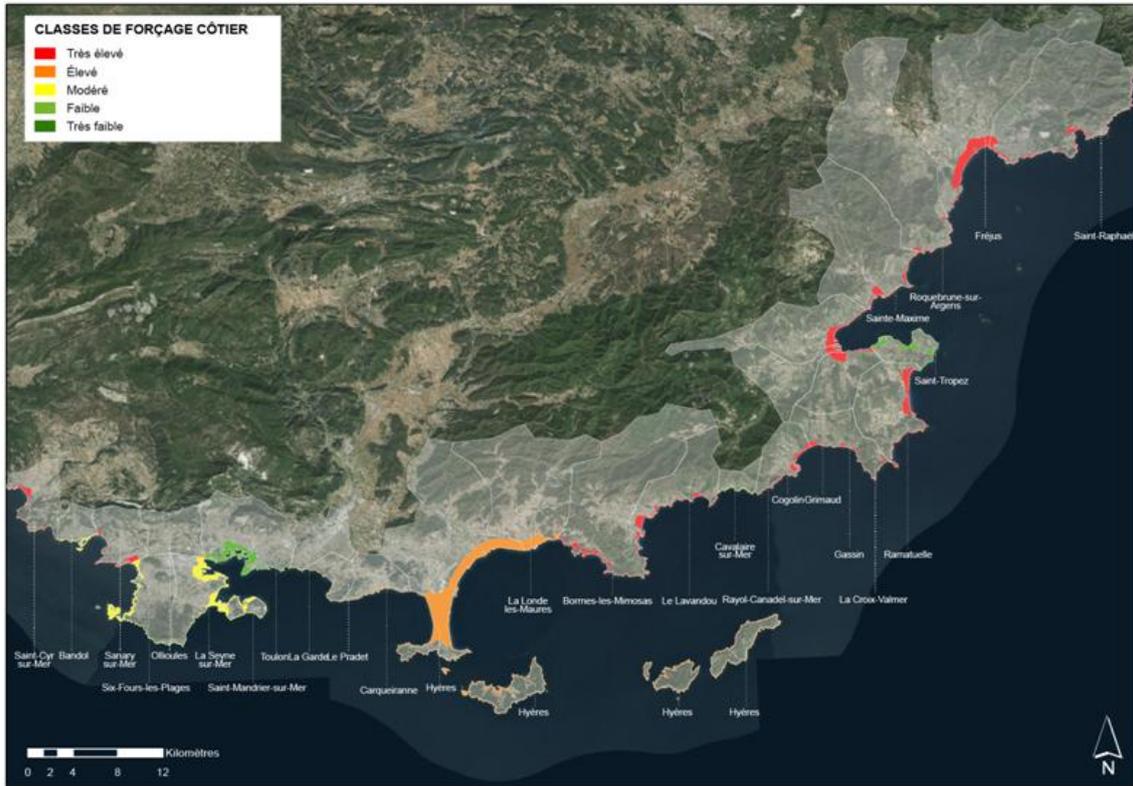
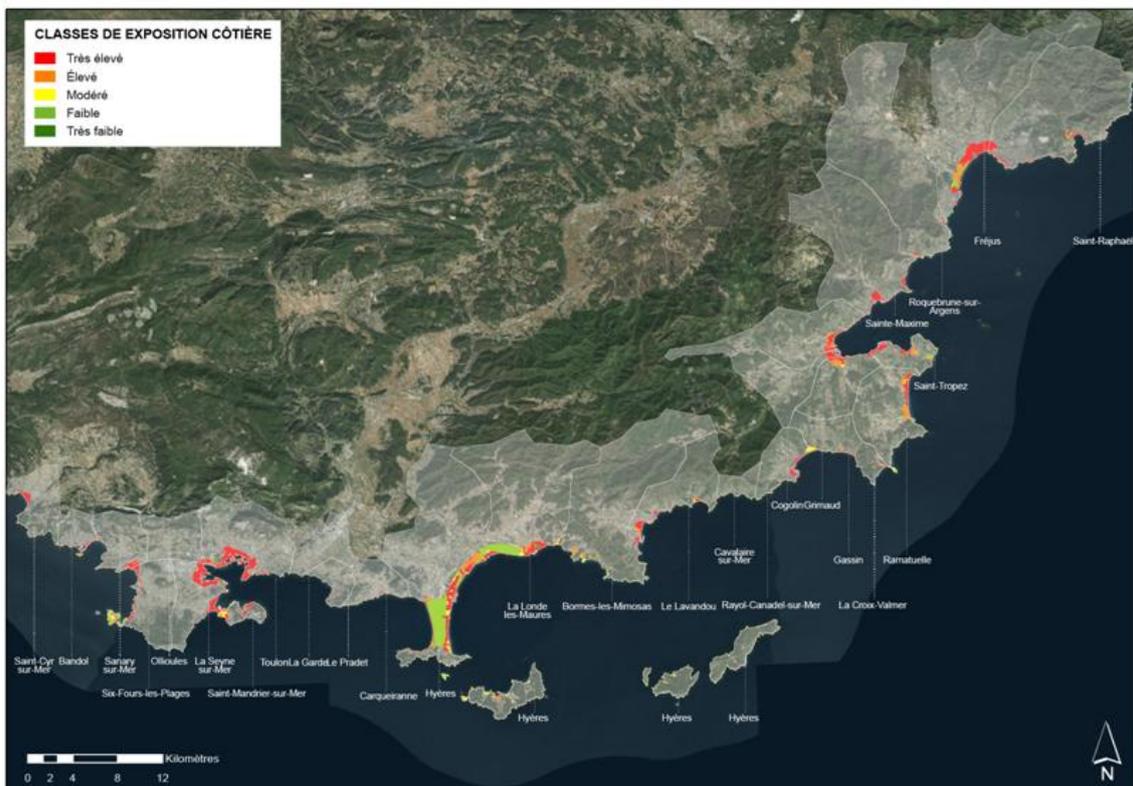


Figure 4. Carte de l'Exposition



Pour calculer la Vulnérabilité associée à chaque cellule (Figure 5), nous avons procédé à quelques simplifications dans le but de prendre en compte les effets différenciés de certaines variables sur l'érosion et les inondations. Par exemple, la variable "géomorphologie" agit uniquement sur l'érosion tout en ayant un effet neutre sur les inondations. Pour cette raison, les scores de "géomorphologie" (de 1 à 5), ont été affectés à toutes les cellules dans la ligne de 100 m, tandis que pour les autres cellules des « zones d'aléa », nous avons attribué une valeur constante égale à 3 parce qu'il n'a pas d'incidence sur les impacts des inondations côtières. D'autres variables qui représentent la composante de la sensibilité de la Vulnérabilité (altitude et distance de la ligne du rivage) diminuent avec la distance de la côte. La variable « rugosité » varie en fonction de la couverture du sol et joue un rôle clé dans la vulnérabilité des cellules par rapport aux impacts des inondations, puis pour la résilience des mêmes cellules à risque.

Figure 5. Carte de la Vulnérabilité



CARTES DU RISQUE SUR L'ENSEMBLE DU DEPARTEMENT DU VAR

Les scores du CRI-LS sont obtenus en multipliant les scores obtenus par les trois sous-indices. Le classement final de risque sont des nombres sans dimension qui jugent le degré de risque relatif des zones côtières à chaque danger côtier analysé, par rapport aux classes de risque qualitatifs (par exemple très élevé, élevé, moyen, faible, très faible). La méthodologie CRI-LS proposée permet de classer le risque à l'échelle locale de la zone étudiée. Les scores pour chaque cellule sont calculés en utilisant la fonction "Calculateur de Raster", qui permet d'effectuer des calculs sur la base des valeurs de pixels existants et l'obtention des résultats apparait dans une nouvelle couche.

La carte du risque local obtenue (Figure 6) montre que les cellules présentant des valeurs de risque extrêmement élevées (colorées en rouge) sont concentrées dans la première ligne. Cela est dû à la superposition des risques maximum de l'inondation et de l'érosion. La zone d'extension maximale du risque de l'érosion, même dans le pire scénario hausse du niveau de la mer à l'horizon 2100 est à moins de 100m. Afin de mieux apprécier les différences, il serait nécessaire d'introduire une couverture terrestre avec une résolution plus élevée (par exemple 10m). Un plus grand détail à partir duquel il serait possible de déduire une meilleure répartition des catégories de risque est présenté dans les graphiques de risque pour certains sites présentés dans la section suivante.

Figure 6. Carte du Risque côtier



RISQUES DANS LES TROIS SITES PO MARITIME

Au-delà de la mise en œuvre de l'approche CRI-LS sur l'ensemble du littoral Département VAR, un zoom sur trois sites spécifiques sélectionnés pour un projet PO MARITIME a été demandé. Il s'agit de Grimaud, Saint Raphaël et les Vieux Salins de Hyères.

Pour chacune des trois zones sont présentés la zone d'aléa côtier et la cartographie des risques (

Figure 7). En général, les zones d'aléa côtier, où la méthode a été appliquée, ont été définies sur la base du principe de précaution basé sur le pire des scénarios de l'année 2100 (voir les paragraphes précédents). La Zone d'Aléa Côtier est définie comme la limite extrême de la pénétration de l'eau dans les terres (jusqu'à une altitude de 6m) à partir de la zone d'aléa côtier pour l'érosion. Dans cette zone l'intensité relative du risque est calculée.

A partir de la carte du risque il est possible d'analyser chacun des sites :

Grimaud (Fig. 7.1)

La zone d'aléa identifiée présente principalement des valeurs élevées ou très élevées d'exposition parce que la zone est densément urbanisée. La vulnérabilité en termes de distribution est régulière, avec les zones les plus vulnérables le long de la côte et moins vulnérables à l'intérieur des terres. En ce qui concerne les valeurs de forçage, elles sont élevées partout, sauf pour la ville de Saint Tropez. En fin de compte le risque est élevé tout le long du littoral, en particulier dans les zones où il y a des activités économiques liées aux zones portuaires.

Vieux Salins de Hyères (Fig. 7.2)

La carte montre des valeurs de forte exposition dans la zone des Salins en raison de la valeur de la biodiversité élevée. Le forçage présente des valeurs élevées pour toutes les zones. La vulnérabilité présente des valeurs élevées à très élevées en fonction de la distance de la ligne de côte. La région compte en moyenne des valeurs inférieures de vulnérabilité. La valeur de risque résultante est de « élevée à très élevée » dans les zones proches de la ligne de la côte. Voulant souligner davantage la « valeur » de la biodiversité dans l'attribution des valeurs d'exposition, il serait nécessaire de disposer d'une cartographie très détaillée de la biodiversité locale.

Saint-Raphaël (Fig. 7.3)

La zone d'inondation de l'embouchure de la rivière "L'Argens" est très sensible aux impacts à cause de la faible altitude et pour les caractéristiques de la ligne de côte de la plage. Dans la partie nord, vers "Fréjus Plage", la présence de résidences et de plages sableuses qui accueillent de nombreux touristes augmentent le niveau d'exposition et donc le risque est

élevé ou très élevé. Toute la zone côtière sableuse est caractérisée par une forte érosion due aux ouvrages du port (au nord de la baie) et aux ouvrages de protection côtière (épis au sud de la baie). La méthode considère que le phénomène d'érosion déjà existant sera accéléré par le forçage climatique et en particulier par la montée du niveau de la mer.

Un autre « point chaud » en termes d'exposition aux risques climatiques est la plage d'Agay où à une valeur de l'exposition et de la vulnérabilité très élevée correspond un risque très élevé.

Figure 7. Les zones côtières PO MARITIME

Figure 7.1 Grimaud

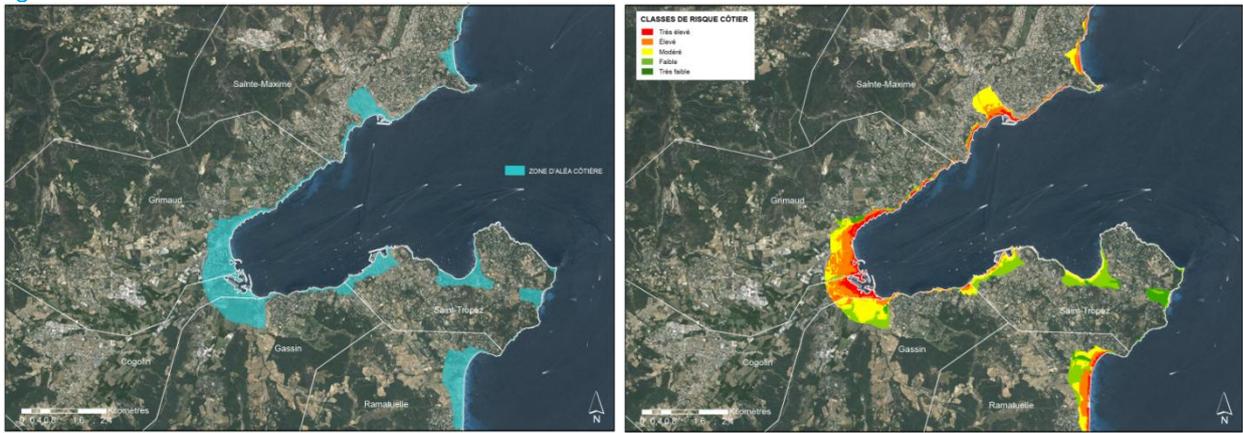
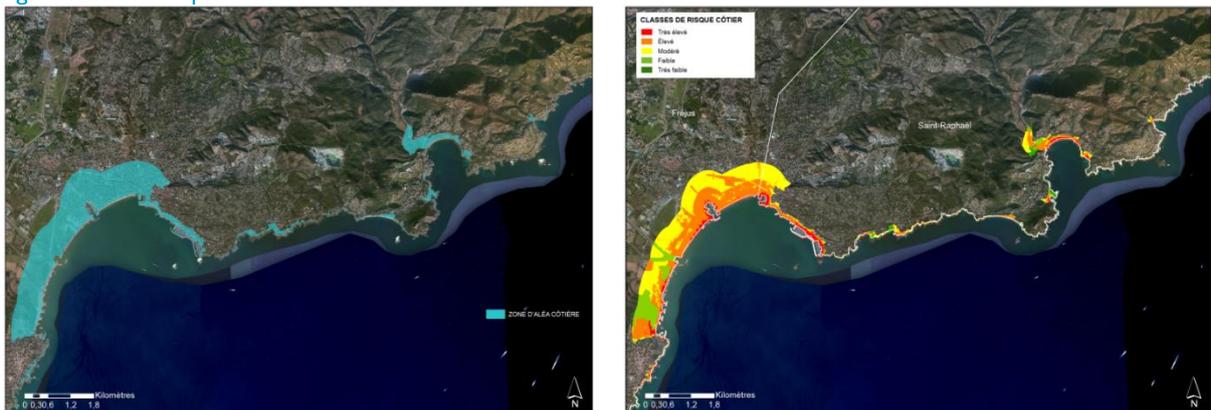


Figure 7.2 Vieux Salins de Hyeres



Figure 7.3 Saint-Raphael



Conclusions

Les variables retenues pour le calcul des trois sous-indices, dépendent de la disponibilité des données au niveau local. Dans le cas du Département du Var grâce au soutien du Plan Bleu et du concours du chef de projet national, il a été possible de rassembler presque toutes les données nécessaires à l'application du CRI-LS.

Particulièrement pertinente dans l'analyse du risque local, la contribution du facteur d'exposition, peut encore être affinée avec une plus haute définition de la couverture du sol (par exemple 10 m x 10 m). La cote du Département du Var est fortement urbanisée avec une haute densité de logements principaux, de résidences secondaires et d'établissements touristiques qui rend la zone très exposée à des risques côtiers.

La carte de vulnérabilité au niveau local, prend en compte le plus grand nombre de variables dans le but de décrire la sensibilité et la résilience des zones côtières analysées aux impacts de l'érosion et des inondations.

L'application du CRI-LS identifie les zones à risque, la zone d'aléa côtier, définie avec le niveau d'inondation maximal dans les pires Scénario de la hausse du niveau de la mer d'ici 2100. À cet égard, le CRI-LS peut aider les gestionnaires côtiers dans l'élaboration de mesures d'adaptation et d'allocation de ressources pour répondre à l'érosion et aux inondations côtières dans ces zones à haut risque.

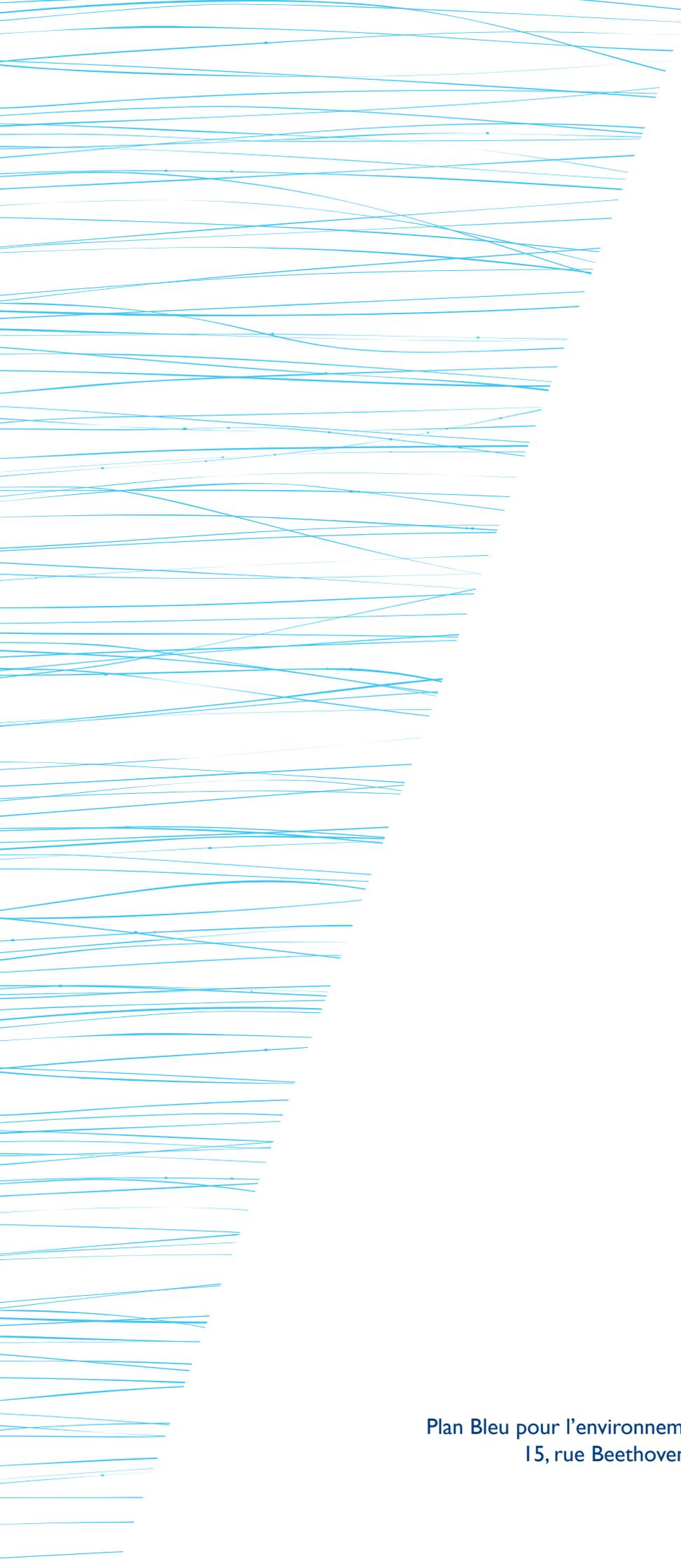
Toutes les données mises à disposition ont été utilisées, mais deux types de freins ont été rencontrés :

1. Freins liés aux disponibilités des données.
 - Les séries historiques d'arrivées touristiques étaient trop courtes (trouvée seulement pour les 5 dernières années).
 - Certaines données essentielles n'ont pas été trouvées :
 - Pente côtière : données trouvées dans la thèse de Brunel (2010). Mais seulement disponibles sur certaines portions du littoral (pas sur toute la côte du Var).
 - État de santé des écosystèmes. Une des principales variables de la « résilience ».
2. Freins liés au format des données. Certaines données sont peu utilisables en l'état (géo-référencement) et nécessitent du travail supplémentaire pour les convertir en image raster.

La méthodologie de l'indice du risque côtier CRI-LS est itérative dans le sens où elle peut être facilement mise à jour avec l'intégration de nouvelles données et surtout des variables manquantes. De nombreuses données existent, et l'ensemble des acteurs varois, doivent être encouragés à ouvrir largement l'accès aux données dont ils disposent et rendre l'application de la méthodologie plus robuste.

Références

- Brunel C., 2010. Evolution séculaire de l'avant cote de la méditerranée Française, impact de l'élévation du niveau de la mer et des tempêtes. Géomorphologie. Université de Provence -Aix-Marseille.
- Conte D. and Lionello P., 2014. Storm surge distribution along the Mediterranean coast: characteristics and evolution. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 120: 110-115, ISSN 1877-0428.
- IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- McLaughlin S. and Cooper J. A. G., 2010. A multi-scale coastal vulnerability index: A tool for coastal managers? Environmental Hazards 9 (3): pp 233-248.
- Satta A., Snoussi M., Puddu M., Flayou L., Hout R., 2016. An Index-based method to assess risks of coastal zones to impacts of climate change and variability: the case of Tetouan. Estuarine, Coastal and Shelf Science Journal. Ref. No.: ECSS-D-15-00616.
- 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;
- World Bank, 2013. Turn Down the Heat: Climate Extremes, Regional Impacts, and the Case for Resilience. A report for the World Bank by the Potsdam Institute for Climate Impact Research and Climate Analytics.



**Plan
Bleu**

Plan Bleu pour l'environnement et le développement en Méditerranée
15, rue Beethoven, Sophia Antipolis, 06560 Valbonne, France
+33 (0)492 387 130 - www.planbleu.org