

Déploiement d'une stratégie sur le littoral de Camargue : diagnostic de territoire et réponses possibles

Strategy for the Camargue coastline: diagnostic and possible solutions

C. De Paris¹, F. Matéo¹, T. Manicacci¹, T. Mallet¹

¹ SYMADREM, Arles, France, symadrem@symadrem.fr

Résumé

Face aux risques de submersion marine et d'érosion côtière auxquels est exposée la Camargue, le Symadrem est chargé d'élaborer une stratégie interrégionale d'intervention sur le littoral. Cette démarche s'inscrit dans un contexte de montée des eaux liée au changement climatique, rendant d'autant plus vulnérable le territoire.

Le Symadrem est le gestionnaire historique de 30 km de digue maritime et d'ouvrages de maintien du trait de côte (épis, brise-lames, tenons) sur la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer. Depuis 2020, il est l'autorité compétente en matière de GEMAPI sur le territoire du Grand Delta du Rhône. Sa compétence comprend désormais la défense contre la mer et la gestion intégrée du trait de côte sur les quatre communes littorales du territoire, ce qui représente un linéaire de 100 km environ.

Si seules ces quatre communes sont concernées par le risque d'érosion côtière, environ 15 le sont par le risque de submersion marine. On estime que 16 000 logements pourraient être touchés par une submersion lors d'une tempête majeure, quand 500 logements seraient touchés par l'érosion du trait de côte à l'horizon 2100.

Le déploiement de la stratégie est réalisé en concertation avec les acteurs du territoire. Trois échelons ont été définis pour la gouvernance : un comité technique restreint réunissant le Symadrem, l'Etat et des experts, un comité technique réunissant une trentaine de structures impliquées dans le grand cycle de l'eau, et un comité de pilotage réunissant environ 120 structures du territoire. Ce choix permet d'allier efficacité et concertation.

Le diagnostic préalable comporte un recensement exhaustif des enjeux anthropiques (logements, entreprises, parcelles agricoles) et dresse un état des lieux du territoire face aux deux risques précités. Il détaille notamment leur évolution prévisible dans les décennies à venir, si aucun aménagement complémentaire n'est réalisé. Enfin, le diagnostic est complété par une analyse économique qui estime le Dommage Moyen Annualisé (DMA) associé au risque actuel de submersion marine, et son augmentation prévisible en 2030, 2050 et 2100, en tenant compte des hypothèses du GIEC concernant l'élévation du niveau marin moyen mondial.

Des solutions de réponse possible sont à l'étude. Elles devront être efficaces, durables et soutenables financièrement par le territoire. Leur définition devra également tenir compte des enjeux environnementaux forts sur le territoire et des contraintes réglementaires.

Mots-clés

littoral, submersion marine, érosion côtière, Camargue, diagnostic

Abstract

The Camargue is confronted to coastal flooding and coastal erosion, thus the SYMADREM (Public institution for management of river and sea levees in the Rhône delta) is in charge of elaborating an inter-regional strategy of intervention on the coastline. This action falls into a sea-level rise context linked to the climate change, making the territory more vulnerable.

The SYMADREM is the historical manager of 30 km coastal levee system, groins and breakwater located in the Saintes-Maries-de-la-Mer town. Since 2020, it is the competent authority in GEMAPI (French acronym for Aquatic environment management and flood prevention) on the Rhône Delta Territory. Its expertise includes from now on, the coastal flood protection and the coastline management, along the four coastal towns of the territory, which represents around 100 km linear.

If only these four cities are concerned by the coastal erosion risk, around 15 are, for their part, concerned by the coastal flooding. We estimate that 16 000 housing estate could be impacted by a submersion during a major flood, when 500 housing estate would be impacted by the coastal line erosion by 2100.

The deployment of the strategy is made in concertation with the territory stakeholders. Three levels were defined for the governance: a restricted technical committee gathering the SYMADREM, the State and experts, a technical committee gathering around thirty structures involved in the great water cycle and a steering committee gathering around 120 territory structures. This choice allows to combine effectiveness and concertation.

The preliminary diagnostic includes an exhaustive census of housing, firms, agricultural parcels, and draw up an inventory of the territory facing the two above-mentioned risks. It details notably their foreseeable evolution in the coming decades, if no complementary construction work is done. Finally, the diagnostic is completed by an economical analysis which evaluates the Annual Average Damage (DMA in French) linked to the actual risk of coastal flooding, and its predictable increase in 2030, 2050 and 2100, reflecting the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) assumptions regarding the sea-level rise.

Key Words

coastal flood, coastal erosion, Camargue, diagnostic

Introduction

Située à l'embouchure du Delta du Rhône, la Camargue est un territoire naturellement exposé aux crues du Rhône, à la submersion marine et à l'érosion côtière. Suite au transfert en 2020 de la compétence Gestion des milieux aquatiques et prévention des inondations (GEMAPI) au SYMADREM sur ce territoire, un travail de déploiement d'une « stratégie littorale » a été initié, en concertation avec les acteurs du territoire. L'objectif est de dresser un état des lieux du territoire face aux risques de submersion marine et d'érosion côtière, puis de proposer un panel de réponses possibles pour réduire l'exposition des enjeux à ces deux risques. Ces réponses tiennent compte des projections d'élévation du niveau marin moyen, conséquence du réchauffement climatique planétaire.

Gouvernance mise en place pour l'élaboration de la stratégie littorale

Pour la gouvernance, trois échelons sont définis. Le premier est un comité technique restreint réunissant le Symadrem, la Sous-Préfectures d'Arles, les DDTM du Gard et des Bouches-du-Rhône et des experts du BRGM, du CEREMA et du CEREGE. Le comité technique réunit quant à lui les services de l'Etat (préfectures, DREAL, DDTM), l'ensemble des collectivités territoriales et EPCI concernés, ainsi que les gestionnaires ou propriétaires publiques du territoire impliqués dans le grand cycle de l'Eau : Parc Naturel Régional de Camargue, Syndicat mixte de la Camargue Gardoise, Tour du Valat, Conservatoire du littoral et Réserve Nationale de Camargue. Enfin, le comité de pilotage réunit environ 120 structures du territoire : aux membres du comité technique s'ajoutent l'Agence de l'Eau, l'Agence française de la biodiversité, les syndicats porteurs de SCOT, les chambres consulaires, les concessionnaires du Domaine Public Maritime (ports, compagnie des Salins-du-Midi, etc.), les associations syndicales autorisées d'irrigation et d'assainissement agricole, les associations de riverains, plaisanciers et chasseurs, les syndicats de riziculteurs et des vins des sables de Camargue, la Compagnie Nationale du Rhône et Voies Navigables de France. Ce choix de gouvernance, mis en place par le passé pour les opérations du plan Rhône et l'élaboration du schéma de la compétence locale de l'eau (SOCLE), permet d'allier efficacité et concertation.

Recensement des enjeux exposés

Les enjeux recensés sur le territoire sont la population et les logements, les établissements d'activités économiques et les emplois, les activités agricoles et les établissements publics.

Pour la submersion marine, l'emprise utilisée est maximale et sécuritaire : elle correspond à l'emprise inondée par une tempête exceptionnelle, tenant compte de l'élévation du niveau marin à horizon 2100. Pour l'érosion côtière, l'emprise considérée est basée sur les projections de trait de côte à horizon 2100 selon les hypothèses les plus pessimistes d'une étude menée par le CEREGE [4].

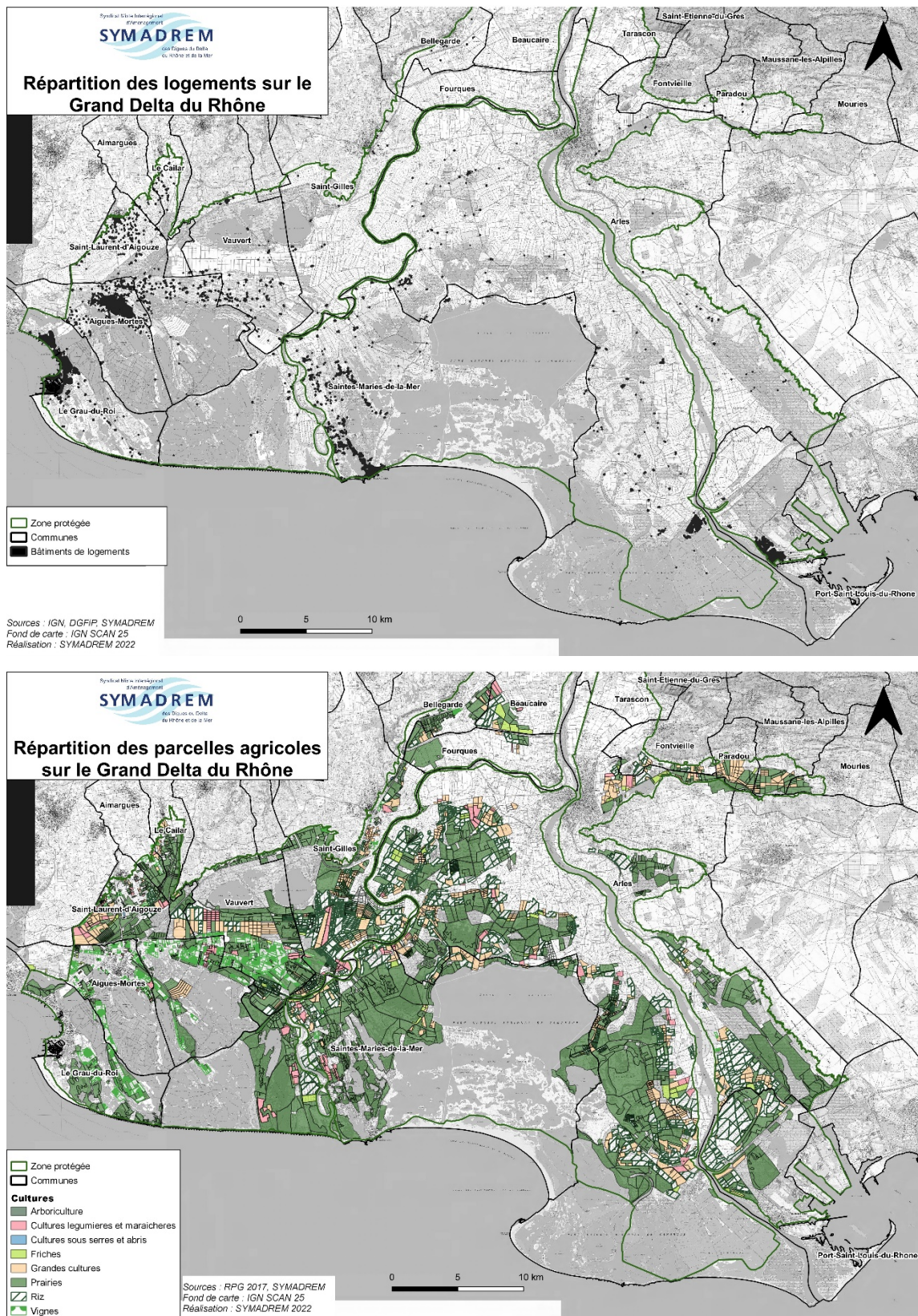


FIGURE 1. Répartition des logements et parcelles agricoles exposés sur le delta du Rhône.

L'exposition au risque de submersion marine dans l'enveloppe maximale concerne environ 32 000 individus, 16 000 logements (Figure 1), 6 000 établissements d'activités économiques et 9 000 emplois. Environ 57 000 ha d'activités agricoles sont également inondés (Figure 1).

L'exposition au risque d'érosion côtière à horizon temporel 2100 concerne environ 400 individus et 500 logements, 80 établissements d'activités économiques et 90 emplois et environ 450 ha de surfaces agricoles. Pour la majeure partie, ces enjeux sont situés sur la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer.

TABLEAU 1. Nombre d'enjeux exposés à horizon 2100.

	SUBMERSION	EROSION
Population	32 000	400
Logements	16 000	500
Entreprises	6 000	80
Emplois	9 000	90
Parcelles agricoles	57 000 ha	450 ha

Pour les tempêtes fréquentes (15 ans) ou exceptionnelles à horizon 2100, le nombre d'enjeux concerné par le risque de submersion marine est nettement supérieur à celui concerné par le risque d'érosion côtière.

État des lieux du territoire face au risque d'érosion côtière

La mobilité des dunes, des deltas et du trait de côte est un phénomène naturel, elle résulte de l'action combinée des vagues, du vent, des courants et des apports de sédiments aux embouchures des fleuves. Ce phénomène s'analyse à l'échelle de la cellule hydrosédimentaire, c'est-à-dire du compartiment de littoral qui peut être décrit et analysé de manière autonome du point de vue des transports sédimentaires.

À l'échelle des six cellules hydrosédimentaire du Grand Delta du Rhône, le linéaire en érosion représente 76 % du linéaire total (Figure 2). À l'inverse 24 % des zones sont en accrétion (Figure 2).

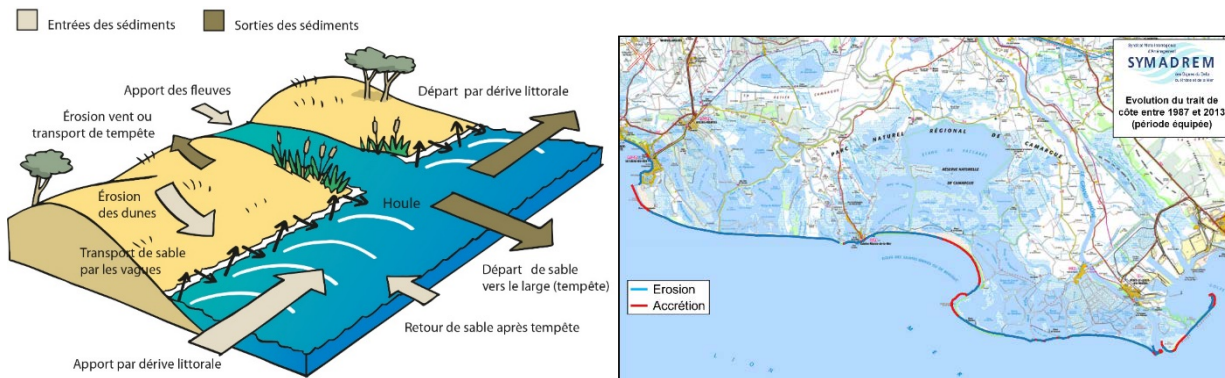


FIGURE 2. Cellule hydrosédimentaire (gauche) et zone érosion et d'accrétion (droite) (© SYMADREM).

Des ouvrages en enrochements sont présents sur environ 50 % du linéaire étudié, soit environ 50 km. Il s'agit d'épis, de brises-lames, de tenons, de jetées portuaires ou de digues frontales en enrochements qui ont été construits pour fixer le trait de côte et limiter son recul.

Dès les années 30, les premiers épis à claire-voie en bois sont installés en certains points du littoral, suivent quelques épis en enrochements dans les années 40. La troisième étape, au cours des années 1980, a été la plus importante au niveau du volume des enrochements et des dépenses engagées : cent vingt-deux épis sont construits en rive droite du Petit Rhône jusque dans le Gard (Figure 3). Enfin, entre 2002 et 2010, huit nouveaux ouvrages en enrochements sont construits au droit des Saintes-Maries-de-la-Mer (Figure 3).



FIGURE 3. Ouvrages en enrochements sur le littoral de Camargue (photo de droite : © DREAL Occitanie).

Le CEREGE a mené une étude [4] qui compare les vitesses de variation historique du rivage de la période dite « naturelle » (entre 1872 et 1977, ce qui correspond à une période avec peu d'ouvrages), à la période dite « équipée », entre 1987 et 2013. La position du rivage théorique de 2013 a été simulée sur la base de son évolution naturelle. L'objectif de ce travail est de répondre à la question « où aurait été positionné le trait de côte en 2013 si aucun ouvrage en enrochements n'avait été mis en place sur le littoral ? ». Le CEREGE prend l'hypothèse que la comparaison entre la position du rivage simulé et du rivage mesuré indique alors l'impact des actions humaines et renseigne sur l'efficacité des enrochements entre leur pose et 2013.

Les résultats montrent (Figure 4) que sur 53 % du linéaire où les enrochements sont présents, ils ont été efficaces pour fixer le rivage, c'est-à-dire que la position du trait de côte de 2013 « fictive », est située en recul dans les terres par rapport à la position réelle du trait de côte en 2013. En revanche, ils ont été inefficaces sur 11 % du linéaire. Sur les 36 % restants, l'effet des enrochements pour fixer le rivage est limité, c'est-à-dire qu'ils n'ont été ni efficaces, ni inefficaces, l'écart entre le trait de côte réel et le trait de côte « fictif » est de moins de 35 m.



FIGURE 4. Efficacité des enrochements.

Les enrochements ont donc été globalement peu efficaces (à peine 50 % d'efficacité) pour fixer le rivage. En revanche, sur certains secteurs urbanisés, comme le centre-ville des Saintes-Maries-de-la-Mer, ils ont permis la sauvegarde du village et le ré-ensablement des plages du centre-ville.

En addition du phénomène de recul du trait de côte, on observe sur le littoral du delta du Rhône une diminution des largeurs de plage, et un approfondissement des petits fonds. Ce comportement traduit le phénomène d'érosion sous-marine et de pertes sédimentaires dans ces secteurs.

Le bilan sédimentaire général décroît depuis 1872 et devient négatif à partir des années 80s. Il passe d'un excédent de 2,1 millions m^3 /an à la fin du XIX^e siècle à un déficit de 5,4 millions m^3 /an au début du XXI^e siècle. Le déficit le plus important concerne la période la plus récente, entre 2006 et 2013. Cela est dû d'une part à une diminution lente et continue des apports sédimentaires aux embouchures (liées à la réduction du nombre de crues depuis la fin du Petit Age Glaciaire, à la revégétalisation du bassin versant et à la construction de barrages hydro-électriques) ainsi qu'au niveau des flèches d'accrétion, et d'autre part aux pertes sédimentaires vers le large qui ont sensiblement augmenté ces dernières années.

État des lieux du territoire face au risque de submersion marine

La submersion marine désigne une inondation temporaire de la zone côtière par la mer dans des conditions météorologiques extrêmes (Figure 5). Elle est la conséquence d'une tempête marine, elle-même générée par une baisse de la pression atmosphérique et des vents forts soufflant vers la terre. La tempête marine se caractérise par une surcote marine (élévation du plan d'eau) et le déferlement de vagues, qui selon son intensité peut dépasser le niveau des digues.

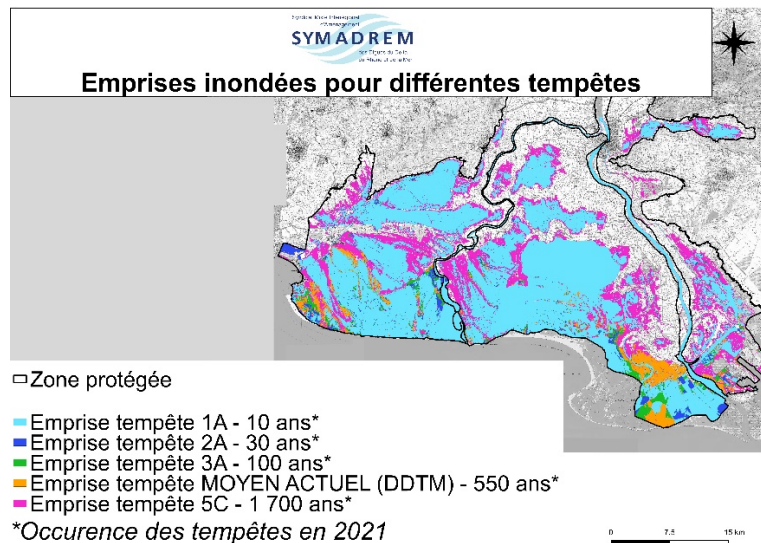


FIGURE 5. Emprises inondées par submersion marine (d'après modélisations du BRGM [1])

Ce phénomène de submersion marine va sensiblement s'aggraver avec l'élévation du niveau marin (Figure 6). Une augmentation de 7 cm du niveau de la mer, conforme aux observations du GIEC, est déjà observée au droit du pertuis de la Fourcade (Saintes-Maries-de-la-Mer) en 20 ans environ.

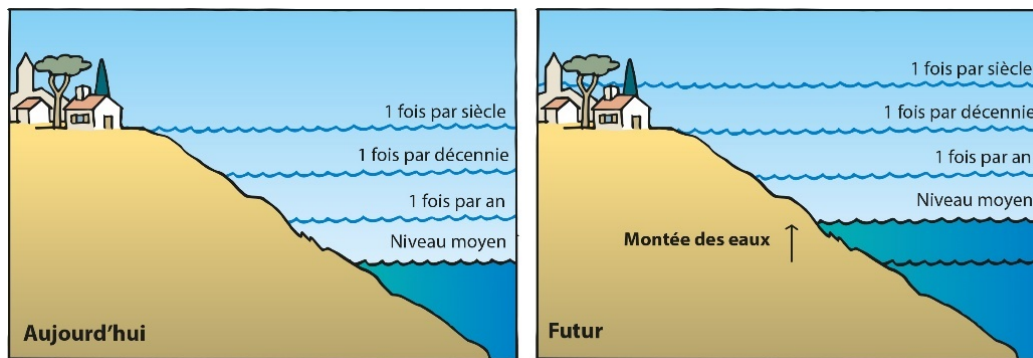


FIGURE 6. Conséquences de l'élévation du niveau moyen sur les évènements rares (© Symadrem).

Les événements majeurs de submersion marine seront de plus en plus fréquents entraînant, sans aménagements complémentaires, des dommages de plus en plus importants.

Ce principe a été quantifié par le Symadrem à l'échelle du delta en se basant sur les prévisions d'élévations du niveau marin moyen mondial, à horizon 2030 (court terme), 2050 (moyen terme) et 2100 (long terme), détaillées dans le rapport AR6 du GIEC [2]. Elles sont établies pour cinq scénarios dit SSP, par rapport à une base de référence de 1995-2014. Pour l'établissement du diagnostic [5], le SYMADREM a retenu trois des cinq scénarios du GIEC. À horizon 2100, les valeurs par scénario sont les suivantes (fourchettes probables entre parenthèses) :

- 44 cm (33 à 61 cm) dans le scénario de faible hausse des émissions (SSP1-2.6),
- 56 cm (44 à 76 cm) dans le scénario intermédiaire (SSP2-4.5),
- 77 cm (63 à 102 cm) dans le scénario de très forte hausse des émissions (SSP5-8.5).

On estime ainsi qu'une tempête qualifiée de centennale actuellement aura une occurrence entre 5 à 10 ans à horizon 2100 sur le littoral du Delta du Rhône. D'autres valeurs figurent dans le tableau ci-dessous.

TABLEAU 2. Modification des occurrences des tempêtes.

Aujourd'hui (2022)	2030	2050	2100	2100	2100
	+ 10 cm /[1995-2014]	+ 20 cm /[1995-2014]	+ 44 cm /[1995-2014]	+ 56 cm /[1995-2014]	+ 77 cm /[1995-2014]
10	8	4	2	2	2
30	22	11	4	4	4
100	66	32	9	6	6
1700	1700	700	100	43	12

Cette analyse repose sur l'hypothèse de non-aggravation des hauteurs de vagues. En effet, le GIEC indique qu'en Atlantique Nord et Méditerranée, les projections ne prévoient pas d'augmentation de la hauteur significative des vagues.

On estime à 99 % le risque d'avoir des entrées d'eau massives par submersion marine dans le grand delta du Rhône avant 2050 et à 65 % avant 2030. Il existe également un risque de 10 % pour que les espaces urbanisés soient touchés avant 2030 et 40 % avant 2050.

Analyse économique

Le montant des dommages, en cas de submersion marine, aux logements, aux entreprises, aux activités agricoles et aux établissements publics, ainsi que le nombre de personnes et d'emplois impactés ont été calculés pour chacune des tempêtes disponibles en croisant la base de données « enjeux » avec les emprises inondées pour chaque tempête. Ce calcul a été réalisé en utilisant les fonctions dommages du guide méthodologique pour l'analyse multicritère des projets de prévention des inondations [3]. Le calcul du montant du Dommage Moyen Annuel (DMA) lié à la submersion marine, correspond à l'espérance mathématique de la variable aléatoire dommage. Il peut être estimé par la somme des dommages des tempêtes étudiées (en supposant leur gamme suffisamment représentative) pondérée par leur probabilité d'occurrence annuelle. En considérant une élévation du niveau marin de 56 cm en 2100 (scénario médian du GIEC), le DMA causé par une submersion marine sera multiplié par 2 à l'horizon 2050 et par 5 à l'horizon 2100 sans intervention (Figure 7).

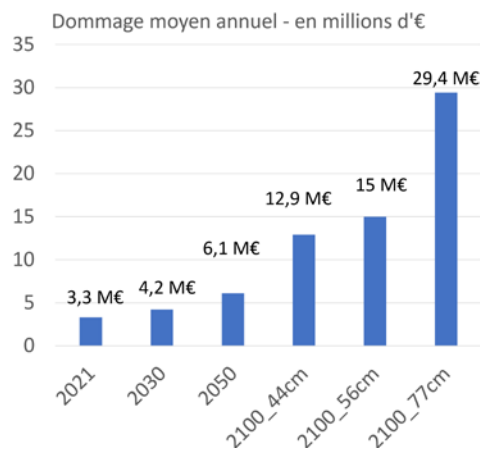


FIGURE 7. Évolution du DMA (Domage moyen annuel) lié à la submersion marine.

L'analyse montre que dans un premier temps les dommages seront essentiellement agricoles et stables dans le temps. Puis à partir de 2050, l'évolution des dommages est exponentielle. À partir de 2070, le dommage aux logements et entreprises devient supérieur au dommage agricole.

Solutions possibles

La stratégie portée par le Symadrem vise à étudier toutes les solutions envisageables pour réduire le risque de submersion marine et d'érosion côtière. Pour les secteurs les plus vulnérables, où les enjeux humains sont importants, pourront être proposés par exemple le renforcement des ouvrages existants, le rechargement de plage, ou la mise en place de solutions fondées sur la nature (restauration de cordons dunaires, etc.). Les solutions proposées devront être rentables économiquement à 50 ans, durables pour faire face à la montée des eaux, et soutenables financièrement. En outre, la réponse à apporter devra tenir compte des enjeux environnementaux du territoire et des contraintes réglementaires.

En parallèle de l'élaboration de la stratégie « littorale », des travaux de renforcement d'un cordon dunaire ont été réalisés par le Symadrem en mars 2023 sur la commune du Grau-du-Roi, en site classé, Natura 2000 et labellisé Grand Site de France. L'objectif des travaux était de renforcer le cordon sur une centaine de mètres, dans sa partie la plus fragile, pour éviter son franchissement par submersion marine. Ce cordon a également été raccordé au cordon de second rang, de 14 km de long, achevé en 2016 sur ce même secteur.

L'opération a consisté en un rechargement sableux de 3 000 m³, qui a permis de doubler la largeur du cordon, et en la mise en place d'une combinaison de techniques de génie végétal douces : paillage, plantation d'espèces floristiques dunaires, ganivelles (Figure 8)... L'accès à la plage était un point d'entrée possible pour la mer en cas de tempête. Il a été déplacé dans une zone moins sollicitée, calé plus haut altimétriquement pour éviter ce risque, et canalisé par des ganivelles de mises en défens pour éviter l'érosion de la dune. La continuité visuelle entre le cordon dunaire et la zone de travaux est respectée, notamment grâce à l'intégration naturelle des éléments fixateurs de la dune (ganivelles en bois, paillage naturel, etc.). L'aménagement a obtenu le label « Solutions Fondées sur la Nature ».



FIGURE 8. Photo post-travaux du renforcement du cordon dunaire des Baronnets.

Sur la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer, l'épi ouest de Port Gardian assure à la fois la fonction d'ouvrage portuaire, et d'ouvrage de protection contre la submersion marine et l'érosion côtière. Cet ouvrage est très détérioré, en particulier au niveau du musoir, où une érosion importante des fonds est constatée. Ceci augmente ainsi les risques de désordres sur l'ouvrage et les risques de brèches en cas de tempête. Des travaux vont être réalisés sur l'ouvrage entre octobre 2023 et mai 2024. Ils consistent en l'ajout d'une couche d'enrochement supplémentaire sur la section courante, côté mer. Au niveau du musoir, la carapace existante est retirée et remplacée par des blocs bétons de 4 m³(Figure 9). Des butées de pied sont reconstituées côté mer. L'ouvrage ainsi redimensionné est capable de résister à une tempête centennale, en tenant compte de l'élévation du niveau marin à horizon 2100 et d'un approfondissement des fonds à 50 ans.



FIGURE 9. Photomontage des travaux sur l'épi ouest de Port Gardian.

Conclusion

Le diagnostic de territoire [5] permet une plus fine compréhension des conséquences des phénomènes d'érosion côtière et de submersion marine sur les enjeux du Delta du Rhône. Sans aménagements complémentaires, ces conséquences seront de plus en plus fortes et coûteuses pour le territoire, du fait de l'élévation du niveau marin moyen. L'approche économique menée en parallèle permet également de chiffrer le coût de l'inaction. Des travaux de confortement d'ouvrages existants ou de renforcement de cordon dunaire ont déjà été menés. D'autres réponses, déployées à plus grande échelle, devront être apportées à court et à moyen terme dans un premier temps.

Références

- [1] Elineau S., Pedreros R., Paris F., Stépanian A., Bulteau T. (2019). *Modélisation de la submersion marine en Camargue – Simulations complémentaires pour le SYMADREM – Rapport final*. BRGM/RP-68619-FR.
- [2] IPCC, (2021): Summary for Policymakers. In: Climate Change (2021). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
- [3] Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire, Service de l'économie, de l'évaluation et de l'intégration du développement durable. (2018). *Analyse multicritère des projets de prévention des inondations – Guide méthodologique 2018*.
- [4] Sabatier, F., Plaine, J., Kulling, B. (2017). *Une approche scientifique pour une connaissance des risques littoraux en Camargue*.
- [5] SYMADREM. (2022). *Stratégie sur le littoral du Grand Delta du Rhône sur les thématiques de l'évolution de la position du trait de côte et de la submersion marine - Diagnostic*.