SUIVI SPATIOTEMPOREL DES EAUX DE SURFACE DANS LES LAGUNES CÔTIÈRES MÉDITERRANÉENNES (FRANCE)

OSWATTE LIYANAGE Priyashani
M2 Télédétection et Géomatique Appliquées à l'Environnement (TGAE), l'Université de Paris

2020 - 2021

Sous la direction de :
Anis Guelmami, maître de stage : Tour du Valat
Katia Lombardini, maître de stage : Tour du Valat
Paul Passy, tuteur de stage : Université de Paris

Remerciements

Ces remerciements s'adressent à une longue liste de personnes. Tout d'abord, la Tour du Valat qui m'a accueillie avec bienveillance.

Une mention spéciale pour Anis Guelmami et Katia Lombardini qui ont été des supers encadrants possédant de grandes qualités humaines, qui m'ont accompagné comme il fallait tout le long de mon stage. Je remercie aussi l'équipe du Pôle-relais Lagunes Méditerranéennes : Virginie Mauclert, Nathalie Barré et Marie Garrido qui ont su me guider, conseiller et m'aider dans ce travail. Une grande équipe de choc, c'était pour moi un honneur de travailler avec vous, j'ai tellement appris avec vous professionnellement et personnellement.

À tous les employés de la Tour du Valat. Je remercie les âmes qui font la Tour du Valat. À Marie-Antoinette Diaz pour sa gentillesse et son écoute, à Roberta Fausti, une personne incontournable et une aide précieuse dans la recherche bibliographique et Gaëtan Lefebvre, le génie de l'informatique toujours là pour nous sauver. J'ai une pensée toute particulière pour Christian Perennou, Olivier Boutron et Emilie Luna-Laurent avec qui j'ai adoré discuter.

Pour l'ensemble des personnes formidables avec qui j'ai vécu tout le long de stage. Des personnes qui me sont chères et avec qui j'ai partagé des moments incroyables et dont leurs soutiens étaient sans faille, une vraie aventure humaine, une famille. Sans oublier Suzanne Catteau que je considère comme ma marraine à la Tour du Valat.

Pour mon encadrant Paul Passy qui s'est assuré que mon stage se passe bien ainsi que ses conseils pour bien commencer le stage.

Ce stage a été réalisé dans le cadre du Life 016 IPE FR001 Marha coordonné par l'Office Français de la Biodiversité avec ses partenaires. www.life-marha.fr

Ce document ne reflète que l'opinion des auteurs, la Commission européenne n'est pas responsable de toute utilisation qui pourrait être faite des informations qu'il contient.

Résumé

La Tour du Valat coordonne le « Pôle-Relais Lagunes Méditerranéennes » (PRLM) depuis 2001. Le PRLM participe à la mise en œuvre du Projet Life intégré Marha LIFE16 IPE/FR001 (2018-2025). Ce dispositif conduit plusieurs actions visant à terme une meilleure évaluation de l'état de conservation de l'habitat « Lagunes côtières méditerranéennes » (UE 1150-2) à l'échelle des sites Natura 2000 des régions Occitanie, Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse. Il a contribué dans ce cadre, en partenariat avec le Muséum National d'Histoire Naturelle (UMS PatriNat), à la mise à jour en 2018 de la méthode nationale d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 1150. Ce guide détaille 12 indicateurs qui doivent être déployés pour évaluer l'état de conservation des lagunes côtières. Parmi ces indicateurs, l'indicateur I01 est relatif à la surface totale couverte par l'habitat à l'échelle d'un site N2000.

L'objectif principal du stage est de mettre en place un système de suivi de l'habitat 1150 « Lagunes côtières méditerranéennes » (selon la définition donnée par la typologie européenne EUNIS), à l'échelle des trois régions méditerranéennes françaises. Ce système de suivi sera basé sur les outils d'Observation de la Terre (OT) et permettra, notamment, de mieux délimiter spatialement cet habitat et de caractériser les dynamiques spatiotemporelles de ses eaux de surface (intra- et interannuelles).

L'approche méthodologique se base sur l'utilisation des séries temporelles des images optiques Sentinel-2 (gratuites et faciles d'accès), couvrant l'hydropériode allant de janvier 2018 à décembre 2020. A l'aide d'un algorithme de segmentation (multi-date), les enveloppes délimitant les lagunes côtières ont été définies par photo-interprétation et les dynamiques spatio-temporelles de leurs eaux de surface ont été caractérisées à partir de ces mêmes images, traitées avec l'indice spectral Water In Wetlands (WIW). Une fois ces informations extraites, elles ont été compilées au sein d'une base de donnée géoréférencée couvrant les trois régions, afin de mieux rendre compte des caractéristiques hydrologiques des lagunes côtières méditerranéennes (ex. type et durée d'inondation).

Abstract

The Tour du Valat coordinates the Pôle-relais lagunes méditerranéennes, which participates in the implementation of the integrated Life Marha LIFE16 project IPE/FR001. This project leads several actions aiming at a better evaluation of the conservation status of the Mediterranean coastal lagoon habitat (EU 1150-2) at the scale of Natura 2000 sites in Occitania, Provence-Alpes-Côte d'Azur and Corsica. In this context, he contributed, in partnership with the Muséum National d'Histoire Naturelle (UMS PatriNat), to the 2018 update of the national method for assessing the conservation status of habitat 1150, which carries 12 indicators to be assessed, including that of the total area of the habitat at the scale of an N2000 site.

The main objective of the internship will be to set up a monitoring system of the habitat 1150 "Mediterranean coastal lagoons" (according to the definition given by the European typology EUNIS), at the scale of the three French Mediterranean regions. This monitoring system will be based on EO tools and will allow, in particular, to better spatially delimit this habitat and to characterize the spatiotemporal dynamics of its surface waters (intra- and interannual).

This was achieved by using Sentinel-2 images, free and easy to access. The segmentation and extraction of water surfaces are done on scenes with an average of one image per month from 2018 to 2020. The segmentation allowed to extract by photo-interpretation the envelope for the Mediterranean coastal lagoons. The water surfaces were extracted using the WIW index. Once obtained this information for each scene for each date were collected in a single image to report the dynamics of open water area from 2018 to 2020. This monitoring will allow to determine the water bodies according to their hydrological functioning and thus to obtain the missing information on the temporary lagoons on the French Mediterranean coast, especially in Corsica.

Sommaire

1 Introduction 7
2 Etat de l'art 10
2.1 Définitions et typologies des milieux lagunaires 10
2.2 Fonctionnement hydrologique des lagunes 11
2.2.1 Bilan hydrique dépendant de trois facteurs 11
2.2.2 Classification suivant la salinité des lagunes 12
2.2.3 Classification fonctionnelle des lagunes 12
2.3 Télédétection et cartographie des lagunes côtières méditerranéennes 13
2.3.1 Principaux défis 13
2.3.2 Indicateur « Surface de l'habitat » 14
2.3.3 Délimitation de l'habitat 1150*-2 et suivi des eaux de surface 14
3 Matériels et Méthodes 16
3.1 Zone d'étude 16
3.2 Données 16
3.2.1 Images satellitaires 16
3.2.2 Critères retenus pour la délimitation de l'habitat 1150*-2 17
3.3 Matériels 18
3.4 Traitements et analyses 18
3.4.1 Délimitation des lagunes 18
3.4.1.1 Prétraitement des images 19
3.4.1.2 Segmentation 19
3.4.1.3 Photo-interprétation et échange avec les gestionnaires 20
3.4.2 Suivi des dynamiques spatio-temporelles des eaux de surface 21
3.4.2.1 Calcul de l'indice WIW 21
3.4.2.2 Assemblage des rasters WIW et cartographie des dynamiques des eaux de surface 22
3.4.2.3 Définition des classes d'inondation 22
4 Résultats 24
4.1 Délimitation des lagunes côtières méditerranéennes 24
4.2 Cartographie des dynamiques des eaux de surface 26
4.3 Discussion des résultats avec les gestionnaires 28
5 Discussion 31
5.1 Approche 31
5.2 Limites 31
5.3 Perspectives 32
6 Conclusion 34
Bibliographie 35
Annexes 37

Avant-Propos

Ce stage de fin d'étude a été réalisé au sein de la Tour du Valat, Institut de Recherche pour la Conservation des Zones Humides Méditerranéennes situé au cœur de la Camargue. La Tour du Valat coordonne le Pôle-Relais Lagunes Méditerranéennes (PRLM), un dispositif qui conduit des actions visant à terme une meilleure évaluation de l'état de conservation de l'habitat « Lagunes côtières méditerranéennes » (UE 1150*-2).

La Tour du Valat a été créée en 1954 par Luc Hoffmann, un naturaliste passionné d'ornithologie. Cet institut privé de recherche est une fondation à but non lucratif reconnue d'utilité publique. Elle a également en charge la gestion de la Réserve naturelle régionale de la Tour du Valat, 2 921 ha à proximité immédiate de la Réserve Naturelle Nationale de Camargue. La Tour du Valat regroupe environ 80 employés, organisés en différents départements et services au sein de l'équipe scientifique et de l'équipe support.

Le PRLM fait partie du réseau des Pôles-Relais Zones Humides, créés en 2001 dans le cadre du premier Plan national d'action en faveur des zones humides et actuellement coordonnés par l'Office Français de la Biodiversité (OFB). Le PRLM est un consortium réunissant la Tour du Valat, les Conservatoires d'Espaces Naturels (CEN) des régions Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur et Occitanie et l'Office de l'Environnement de la Corse (OEC). Sa mission principale est de favoriser une meilleure reconnaissance des milieux lagunaires de Méditerranée française et encourager leur gestion durable.

Le stage s'inscrit dans le cadre du projet Life Intégré Marha LIFE16 IPE/FR001. Ce projet entre dans un programme pluriannuel de l'Union Européenne pour l'environnement et le climat. Le projet Life consiste à faire progresser la mise œuvre de la Directive Européenne Habitats-Faune-Flore (DHFF), qui définit la politique de Natura 2000. Il se concentre sur les habitats marins, dont les lagunes côtières font partie.

La Tour du Valat participe à la mise en œuvre du Projet Life Intégré Marha LIFE16 IPE/FR001 en tant que bénéficiaire associé. Ce projet d'une durée de 8 ans, coordonné par l'OFB, a démarré en novembre 2017. Dans ce cadre, la Tour du Valat, en tant que coordinateur du Pôle-relais lagunes méditerranéennes, participe à de nombreuses actions, dont l'action D1 « Évaluer l'état de conservation des habitats » dans laquelle s'inscrit ce stage. L'objectif de ce travail est de mettre en place un système de suivi de l'Indicateur 01 « surface de l'habitat 1150 Lagunes côtières méditerranéennes » (selon la définition donnée par la typologie européenne EUNIS), à l'échelle des trois régions méditerranéennes françaises : Provence-Alpes-Côte d'Azur, Occitanie et Corse.

1 Introduction

Les zones humides sont réparties dans les quatre coins du monde, sous tous les climats sauf dans l'Antarctique. La définition des zones humides d'après la Convention Ramsar, englobe un large éventail d'écosystèmes aquatiques, y compris les eaux marines à faible profondeur (inférieure à 6m à marée basse). Elle inclut les marais temporaires, les lacs, les réservoirs, les fleuves, les deltas, les réservoirs, les chotts, les rizières, les sebkas, les aquifères, les lagunes et plein d'autres encore. Elles couvrent une surface estimée entre 0,75 et 1,3 milliard d'hectares dans le monde (Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes, 2012). Les zones humides revêtent de forts enjeux de conservation (Convention de Ramsar, 1971) et sont considérées comme des *hotspots* de biodiversité. En effet, ces écosystèmes font partie des milieux les plus riches et les productifs au monde et offrent un grand nombre de services, tels que l'absorption du carbone, la protection contre les inondations et les submersions marines, ou encore la recharge les nappes phréatiques (Barbier, 2011). Toutefois, ces milieux sont soumis à des fortes pressions anthropiques qui ont conduit à la disparition de plus de la moitié de leur surface qui existaient en 1900 à l'échelle de la planète (Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes, 2012).

18,5 millions d'hectares de zones humides (entre 1 % et 2 % des zones humides mondiales) se trouvent dans la région méditerranéenne, qui a été reconnue comme l'un des 34 *hotspots* mondiaux de biodiversité (Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes, 2012). Néanmoins, cette région reste soumise à de fortes pressions anthropiques. En effet, selon l'OZHM (2018), près de 48% des habitats naturels humides ont été perdus en Méditerranée depuis 1970. De ce fait, la conservation des zones humides est essentielle pour la sauvegarde de la biodiversité en Méditerranée, puisqu'une majorité de celle-ci se concentre dans ces écosystèmes. Des initiatives sont prises par différents acteurs à différentes échelles. En 1992, l'Union Européenne s'est engagée à enrayer la perte de la biodiversité sur ses territoires en créant un réseau de sites écologiques nommé Natura 2000 basé sur l'application de deux Directives : la Directive Oiseaux de 1979 et la Directive Habitats-Faune-Flore de 1992. Ce réseau européen cohérent est composé de sites naturels, terrestres ou marins, désignés par les États Membres.

Parmi ces écosystèmes humides méditerranéens, les lagunes côtières sont considérées parmi les productives et les plus riches en biodiversité (Zahra et *al.*, 2013). En effet, ces milieux constituent un espace naturellement riche en éléments nutritifs, jouant un rôle fondamental dans le cycle de l'eau et représentent le siège d'importants processus biogéochimiques liés aux apports de leurs bassins versants en amont (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2001). À l'interface entre écosystèmes continentaux et marins, ces étendues d'eau peu profondes sont partiellement ou totalement séparées de la mer par une barrière naturelle ou artificielle (Bird, 1994 ; Kjerfve, 1994). Cette localisation leur permet d'avoir des degrés de salinité très variables et des conditions favorables pour une grande diversité faunistique. Pour les poissons par exemple, ces zones constituent une aire de nourrissage et pour les oiseaux des espaces propices aux haltes migratoires et à la nidification. Ce sont, par conséquent, de véritables corridors écologiques (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2001).

Tout comme la plupart des zones humides littorales, les lagunes sont également menacées par de fortes pressions liées à l'activité humaine (Barre et *al*. 2020). De ce fait, ces espaces font l'objet de conflits d'usage, dont le remblaiement des surfaces qui est un des facteurs de disparition de l'habitat, ainsi que l'utilisation de ces étangs pour diverses activités (Tournoud et *al*. 2001). De plus, l'augmentation des activités anthropiques a engendré, depuis plusieurs décennies, une multiplication des sources de pollution (urbaines, agricoles et industrielles) se propageant au sein des milieux côtiers (Michel & Tengou, 2001). En parallèle à ces pressions anthropiques, les lagunes côtières sont particulièrement exposées aux effets engendrés par le changement climatique (Neumann et *al*., 2015). Parmi les principaux impacts attendus de ces perturbations, on compte une augmentation de la température de l'air et de l'eau, du niveau de la mer et le dérèglement des cycles hydrologiques, avec une diminution des apports en eau venants des bassins versants côtiers (en lien avec la baisse des précipitations annuelles), ou encore une augmentation de la fréquence et de l'intensité des événements extrêmes, tels que les sécheresses et les inondations (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2001). Malgré leur forte résilience, la combinaison de tous ces facteurs peut provoquer des déséquilibres écologiques (parfois irréversibles) des lagunes côtières méditerranéennes, des altérations de leurs fonctions et une diminution drastique des services écosystémiques qu'elles rendent.

Du fait de l'augmentation de ces menaces sur l'état des lagunes côtières, on observe, depuis une trentaine d'années, une prise de conscience de la population pour protéger ces milieux. Par conséquent, ces espaces ont été désignés comme Habitats Naturels d'Intérêt Communautaire Prioritaire par la Directive Habitat-Faune-Flore (DHFF), sous le code 1150 « Lagunes côtières ». D'après l'article 17 de cette Directive, celui-ci impose à tous les Etats Membres de produire un rapport tous les 6 ans sur l'application des dispositions prises dans le cadre de cette directive. Ce rapport présente notamment les mesures de conservation engagées, dont celles sur l'état de conservation des habitats et des espèces, et un bilan de cet état de conservation. Les résultats de cette évaluation doivent être renseignés dans les DOCuments d'OBjectifs (DOCOB). Cette évaluation permet de faciliter le travail des opérateurs d'une part et, d'autre part, d'acquérir et de comparer des données entre les sites sur une grande période de temps.

En France, l'UMS PatriNat a été chargée par le ministère chargé de l'Écologie de mettre en place des méthodes standardisées au niveau national, afin d'évaluer l'état de conservation de tous les Habitats d'Intérêt Communautaire. Dans ce cadre, l'UMS PatriNat et le PRLM ont travaillé de concert sur la mise à jour de la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 1150 « Lagunes côtières ». L'évaluation de l'état de conservation des lagunes côtières méditerranéennes (habitat 1150*-2) est donc une obligation liée à la DHFF, transposée dans le droit français dans l'article R.414-11 du Code de l'Environnement. L'objectif est, à terme, d'appliquer cette évaluation à l'ensemble des sites contenant cet habitat 1150*-2.

Effectuer l'évaluation d'un site Natura 2000 tous les 6 ans permet d'assurer un suivi régulier. Les résultats pourront également être des outils d'aide à la décision et permettre de proposer des actions de gestion adaptées. L'objectif pour l'habitat 1150 est aussi de présenter un rappel du contexte évolutif, avec ses différentes pressions anthropiques directes et indirectes. Actuellement, pour cet habitat, il y a une continuité de l'acquisition des connaissances sur les composantes biologiques, le fonctionnement hydrologique et la qualité physico-chimique des

eaux permanentes. Certaines lagunes permanentes sont d'ailleurs classées dans la catégorie « Masses d'Eaux de Transition » la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). En revanche, pour les lagunes temporaires, on constate des lacunes ou un manque de connaissances relatifs, entre autres, à la superficie couverte par ces milieux, ainsi que leur fonctionnement hydrologique.

La mise à jour des références bibliographiques, notamment des acquis de la recherche et développement en matière de télédétection et de cartographie des habitats littoraux, a permis de mettre en lumière le manque de connaissances concernant la délimitation et donc l'évaluation de l'habitat 1150, en particulier pour les lagunes temporaires. À l'échelle de la façade méditerranéenne, les zones humides côtières qui portent la définition de cet habitat, ne sont donc pas suffisamment cartographiées. Cela s'explique, entre autres, par la difficulté à les définir en tant qu'habitat 1150 et à les délimiter correctement, car ils sont bien souvent identifiés en mosaïque avec d'autres habitats. Aussi, partant du principe qu'il est nécessaire de délimiter l'habitat 1150 et de connaître sa superficie, avant de pouvoir l'évaluer par la méthode nationale, le présent travail vise à mieux définir ses délimitations à l'échelle de la façade méditerranéenne française, selon des critères les plus objectifs possible, tout en travaillant de concert avec les gestionnaires et animateurs de sites Natura 2000. Les principaux objectifs de cette étude sont donc de répondre (i) au besoin de délimiter les lagunes côtières méditerranéennes, en lien avec l'indicateur « Surface de l'habitat » de la méthodologie EC lagunes côtières et (ii) à la nécessité de les caractériser selon leur hydrologie de surface (permanentes et temporaires).

L'approche méthodologique adoptée se base sur les outils d'Observation de la Terre et permettra, notamment, de mieux délimiter l'habitat « Lagunes côtières méditerranéennes » et de caractériser les dynamiques spatio-temporelles de leurs eaux de surface (intra- et interannuelles). Ce travail contribuera donc à renforcer les connaissances concernant ces milieux, en aidant à mieux comprendre leur fonctionnement hydrologique.

2 Etat de l'art

2.1 Définitions et typologies des milieux lagunaires

Les lagunes côtières apparaissent à travers divers phénomènes géologiques, à la jonction terre-mer et offrent un environnement très diversifié, à fort contraste paysager. En raison de la complexité de cet habitat, il n'est pas toujours facile de le définir, de le délimiter ou de classer les différents types de lagunes côtières en fonction de leurs caractéristiques physico-chimiques, biologiques, hydrologiques et hydro-morphologiques. D'autre part, il existe de multiples classifications de ces habitats humides, au niveau global, européen, ou encore national. L'utilisation de chacune de ces typologies et classification est motivée par des objectifs spécifiques, notamment en lien avec les échelles spatiales de travail.

D'après le manuel d'interprétation des habitats de l'Union Européenne (Commission Européenne, 2013), les lagunes côtières sont « des étendues d'eau salée côtières peu profondes, de salinité et de volume d'eau variables, totalement ou partiellement séparées de la mer par des bancs de sable ou des galets, ou, moins fréquemment, par des rochers. La salinité peut varier d'un niveau saumâtre à hyper-salin, en fonction des précipitations, de l'évaporation et de l'ajout d'eau de mer provenant des tempêtes, de l'inondation temporaire en hiver ou du mouvement des marées. Avec ou sans végétation de *Ruppietea maritimae*, *Potametea*, *Zostereteа* ou *Charetea* (CORINE 91 : 23.21 ou 23.22). Les bassins salés et les étangs salés peuvent également être considérés comme des lagunes, à condition qu'ils aient leur origine dans une ancienne lagune naturelle transformée ou dans un marais salé et qu'ils soient caractérisés par un impact mineur de l'exploitation ».

Les lagunes côtières sont désignées comme habitat d'Intérêt Communautaire Prioritaire par la DHFF. Celle-ci liste les habitats d'Intérêt Communautaire à l'Annexe I et leurs descriptions sont présentées dans le manuel d'interprétation des habitats de l'Union Européenne (Communauté Européenne, 2013). La France a précisé la description de ces derniers par la rédaction des Cahiers d'Habitats, dont le tome 2 intègre l'habitat 1150* « Lagunes côtières », pour lequel deux sous-types y sont distingués (Bensettiti et *al*., 2004) :

- Les lagunes en mer à marées en façade atlantique (code 1150*-1) ; et
- Les lagunes méditerranéennes (code 1150*-2).

En plus de la définition de ces Habitats d'Intérêt Communautaire (HIC), le guide d'application de l'État de Conservation des lagunes côtières d'intérêt communautaire a proposé pour les lagunes méditerranéennes de nouveaux sous-types d'habitats (Lepareur et *al*., 2018). Ces derniers sont considérés comme des cibles opérationnelles pour le gestionnaire pour la mise en œuvre de la méthode d'évaluation de l'état de conservation (ex. mise en place du protocole d'échantillonnage, choix des critères et des indicateurs à relever). Ainsi pour la méthode d'évaluation de l'état de conservation à l'échelle du site Natura 2000, il a été retenu pour les lagunes méditerranéennes une typologie opérationnelle les scindant sur les bases :

- De leur fonctionnement hydrologique (caractère permanent ou temporaire) ; et
- De leur niveau de salinité (supérieure ou inférieure à 18 ppt).

Toutefois, étant donné la complexité de cet habitat, malgré les différentes définitions qui existent, les lagunes côtières peuvent encore être confondues avec :

- Les habitats de la série 1160-3, notamment les sables vaseux de mode calme, à salinité égale (ou très proche) à celle de la mer et situés dans des criques plus ouvertes ;
- Les sables vaseux et vases lagunaires et estuariennes 1130-2, présentant une salinité stratifiée (faible en surface, forte en profondeur), caractérisé par la coexistence de deux masses d'eau constamment renouvelées ; ou encore
- Les lagunes à activité salicole dont l'impact est caractérisé comme « non mineur », c'est-à-dire les tables salantes en activité.

Actuellement, une note est en cours de rédaction, par l'UMS PatriNat et avec l'appui d'un groupe d'experts, relative à l'interprétation française des habitats 1150 et 1130. Même s'il s'agissait encore d'une version intermédiaire au moment de la réalisation de ce travail, celle-ci a néanmoins permis d'aider à définir les critères pour délimiter l'habitat 1150*-2 « Lagunes côtières méditerranéennes ».

2.2 Fonctionnement hydrologique des lagunes

Les lagunes méditerranéennes peuvent être considérées comme des milieux humides généralement peu profonds (de l'ordre du mètre). Cependant, certaines peuvent atteindre une dizaine de mètres de profondeur en raison de leurs origines géomorphologiques (ex. les étangs de Thau, Berre, Diana). En effet, d'une part les lagunes issues de déplacements sédimentaires sont peu profondes et leurs rives sont basses. D'autre part, les plans d'eau résultant de / mouvements tectoniques ou érosifs (rias, bassins ou « bahira ») sont plus profonds et possèdent souvent un littoral rocheux.

2.2.1 Bilan hydrique dépendant de trois facteurs

Du fait de leurs géomorphologies, le bilan hydrique des lagunes dépend de trois facteurs (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2001) : les apports d'eau douce, les échanges avec la mer et les pertes par évaporation. Plus précisément, les apports d'eau douce comprennent :

- Les apports pluviométriques directs qui peuvent être prépondérants dans les lagunes et marais périphériques dont les bassins versants sont réduits ;
- Les apports par les canaux de navigation ou d'irrigation ;
- Les apports souterrains (ex. sources, résurgences en terrain karstiques, nappes phréatiques).

Les échanges entre mer et lagunes ou entre lagunes et milieux humides périphériques sont également importants. L'essentiel des échanges avec la mer se font par l'intermédiaire des

graus, qui sont des passes créées par l'ouverture plus ou moins permanente d'une bande sableuse appelée lido (Bird, 1994). Entre les lagunes et leurs zones humides périphériques, la communication hydraulique peut se faire par un phénomène de surverse lié à un débordement de la lagune, ou pour les marais gérés[1] en périphérie et la communication s'effectue par l'intermédiaire de chenaux (Tournoud et al. 2001). En outre, il existe des facteurs influençant la dynamique de ces échanges :

- Les vents, qui provoquent des différences de niveaux entre la mer et les lagunes, favorisant ainsi le remplissage ou la vidange de ces dernières ;
- Les marées qui, malgré leur faible amplitude en Méditerranée, contribuent à maintenir une influence marine importante, avec une alternance d'entrée d'eau marine et de sortie d'eau saumâtre, participant au renouvellement de l'eau ;
- Les ouvrages hydrauliques présents, qui peuvent réguler des entrées et sorties d'eau ;
- Les pertes par évaporation, influencées généralement par le vent, interviennent fortement dans le bilan hydrique annuel des lagunes côtières.

2.2.2 Classification suivant la salinité des lagunes

Du fait de ces facteurs, la circulation des masses d'eaux à l'intérieur d'une lagune est essentiellement impactée par le régime des vents et par la forme du bassin (profondeur, tracé des rives, présence d'îlot…etc.). Ces divers facteurs contribuent à modifier continuellement la salinité des eaux. De plus, les apports d'eau douce, souvent épisodiques en Méditerranée, tendent à diminuer la salinité moyenne de la lagune durant la saison humide, tandis que l'évaporation, très importante en été, tend à l'augmenter (Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 2001). Selon ces spécificités, différents auteurs ont donc proposé une définition des lagunes méditerranéennes, distinguant trois grands types :

- Les lagunes permanentes poly-euhalines, dont la salinité est proche du milieu marin et qui ne s'assèchent pas selon une dynamique saisonnière ;
- Les lagunes permanentes oligo-mésohalines, dont l'assèchement est exceptionnel et la salinité excède rarement 18 ppt ; et
- Les lagunes temporaires.

2.2.3 Classification fonctionnelle des lagunes

Du fait du fonctionnement hydrologique des lagunes, ressort la notion de confinement. Cette dernière est liée aux échanges entre les différents écosystèmes aquatiques de l'habitat. Selon Guelorget & Perthuisot (1984), le confinement mesure l'éloignement d'un complexe

[1] Il s'agit d'un milieu humide caractérisé par une gestion effective des niveaux d'eau et un entretien régulier des digues et des chenaux. Leur périmètre géographique et/ou administratif se définit dans leurs statuts juridiques.

lagunaire avec la mer et la diminution des échanges avec celle-ci. Il dépend de l'hydrodynamisme interne qui conditionne également la distribution des flux de matières minérales et organiques à l'intérieur de la lagune. De ce fait, Nichols & Allen (1981) ont proposé une classification fonctionnelle des lagunes sédimentaires relative à la connectivité à la mer ou à leur degré de confinement : les lagunes ouvertes, semi-fermées et fermées.

Ainsi, d'après Lepareur et *al*. (2018), le fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes correspond à la typologie de niveau 3 :

- Les lagunes permanentes : pièces d'eau qui ne s'assèchent pas, y compris durant la période estivale ; et
- Les lagunes temporaires : pièces d'eau qui ont la particularité de s'exonder durant les mois d'été, pour se remplir ensuite les mois d'hiver. La phase d'assèchement en période estivale peut être plus ou moins longue (entre 1 à 6 mois).

2.3 Télédétection et cartographie des lagunes côtières méditerranéennes

La réalisation d'une cartographie fine est donc nécessaire à la mise en œuvre des indicateurs de la méthode d'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 1150. A l'échelle des sites Natura 2000 sur la façade méditerranéenne française, il convient de le faire à l'aide des outils issus des Systèmes d'Information Géographique (SIG). En outre, avec la télédétection il est possible d'acquérir plusieurs images d'une même région et de couvrir de très grandes surfaces. Grâce aux différentes approches de traitement de ces images, il est alors possible de détecter et de mesurer avec précision les changements entre les différentes dates d'acquisition.

2.3.1 Principaux défis

Une modification du système hydrologique peut provoquer de profonds changements dans le fonctionnement de l'écosystème lagunaire et avoir, comme conséquence, une perte de la surface de l'habitat (PRLM, 2013). Cette perte de surface peut aussi provenir d'autre perturbations d'origine anthropique (ex. remblais, drainages, conversion vers d'autres types d'usage des sols…etc.) et, de la même manière, avoir un impact sur leur fonctionnement. Sachant aussi, qu'en Méditerranée, ces habitats sont soumis à de fortes variations environnementales interannuelles concernant, notamment, la durée et la période d'inondation/exondation, la variation de leur surface (perte/gain) peut également être d'origine naturelle et résulter d'un processus de changement dans les conditions hydrologiques ou/et liées à l'extension ou le retrait d'autres habitats naturels (ex. les roselières). Toutefois, l'impact de ce dernier phénomène sur la superficie totale des habitats humides naturels est à nuancer, car il ne s'agit pas d'une perte/d'un gain dans l'absolu, mais une conversion d'habitat humide naturel vers un autre (Beltrame et *al*., 2015), induite par une modification de certains paramètres physico-chimiques (ex. diminution/augmentation de la salinité).

Compte-tenu de ces spécificités intrinsèques aux lagunes méditerranéennes, il est donc nécessaire de développer des outils fiables permettant de suivre leur évolution spatiotemporelle, afin de mieux évaluer leur état de conservation face aux différents facteurs de changements qu'ils subissent. Cependant, il est important de noter que cette évaluation est aussi fortement dépendante de l'échelle de perception, dont ils en existent 4 selon les besoins (PRLM, 2013) :

- L'échelle de la lagune, qui correspond à la pièce d'eau entourée de ses berges ;
- L'échelle de l'unité hydraulique, correspondant à une ou plusieurs pièces d'eau dont l'hydrologie évolue de manière interdépendante ;
- L'échelle du sous-site Natura 2000, désignant un sous-ensemble d'un site Natura 2000, qui peut, lui-même, être composé d'une ou plusieurs unités hydrologiques ; et
- L'échelle du site Natura 2000, constituant une unité administrative et regroupant l'ensemble des pièces d'eau de l'habitat 1150*.

2.3.2 Indicateur « Surface de l'habitat »

La surface couverte par l'habitat est mesuré par l'indicateur unique « Surface de l'habitat » (Lepareur et *al*., 2018). Il fait partie des indicateurs essentiels pour évaluer l'état de conservation de l'habitat 1150*-2, au titre de la DHFF. Il est renseigné soit directement à l'échelle du site, soit par agrégation des données de chaque pièce d'eau du site. Ainsi, pour qu'un habitat soit déclaré en bon état de conservation, sa surface doit être stable ou en progression au cours des différentes évaluations. Cet indicateur permet donc d'évaluer l'évolution de la surface de l'habitat au travers d'une tendance (Barré et *al*. 2020). Par conséquent, le résultat de l'indicateur ne sera pas une note numérique mais une description de l'état de conservation par rapport aux pertes de surface observées.

Barré et *al*. (2020) détaillent le protocole pour cet indicateur, avec un échantillonnage se faisant sur toutes les pièces d'eau du site et une évaluation de la perte de surface réalisée en comparant celles observées à une surface de référence. Cette référence est définie par la surface identifiée dans le DOCOB, ou par la surface fixée lors de la première évaluation de l'état de conservation. L'évolution de la surface doit être mesurée en combinant travail sur les SIG et vérifications terrain. Certaines données géoréférencées peuvent être obtenues gratuitement et la résolution spatiale minimum conseillée pour les images satellites est de 30 m. Enfin, l'évaluation de la surface couverte peut se faire via l'utilisation des données d'OT et le passage sur le terrain au moment du pic de végétation. Pour les polygones connectés en réseau (nombreuses pièces d'eau proches), la surface évaluée sera celle du polygone convexe à l'ensemble des polygones contenus dans le réseau (Mistarz, 2016).

2.3.3 Délimitation de l'habitat 1150-2 et suivi des eaux de surface*

Barré et *al*. (2020) ont également rapporté des conseils et des outils à la faveur d'une optimisation du temps dédié à l'évaluation de l'état de conservation des lagunes côtières

méditerranéennes. Pour ce faire, un tutoriel a même été édité par la Tour du Valat, visant à mieux expliquer l'approche de cartographie orientée-objet (segmentation) des HIC, à l'aide du logiciel GEOclassifier© (Jena-Optronik GmbH). L'objectif étant d'aider à obtenir une cartographie plus fine de ces habitats, à travers une méthode mêlant segmentation semi-automatique des images (ortho-photos ou satellitaires), photo-interprétation et relevés phyto-sociologiques localisés.

En outre, pour le suivi cartographique des habitats humides méditerranéens, des approches basées sur les outils d'OT ont également été développées par la Tour du Valat. En effet, durant ces dernières décennies, leur utilisation s'est avérée très pertinente pour le suivi de certaines de leurs caractéristiques écologiques (Beltrame et *al*. 2015 ; Perennou et *al*. 2018). Ces derniers ont permis d'enrichir les connaissances sur leur structure et leur fonctionnement, notamment à travers le suivi des dynamiques spatiotemporelles de leurs eaux de surface. Dans ce contexte, la Tour du Valat a récemment développé un nouvel indice spectral *Water In Wetlands* ou WIW (Lefebvre et *al*., 2019), basé sur l'utilisation d'images optiques, issues des séries chronologiques Sentinel-2 et Landsat OLI, ETM et TM. Celui-ci permet notamment une meilleure détection des eaux de surface présentes sous la végétation, comparativement à d'autres indices couramment utilisés (tel que le NDWI par exemple) et, grâce à la haute fréquence d'acquisition des images utilisées, un suivi plus rigoureux de leurs dynamiques intra- et interannuelles. Ceci permettra, par exemple, une meilleure caractérisation des lagunes méditerranéennes permanentes et temporaires.

3 Matériels et Méthodes

Afin de répondre aux objectifs de ce travail, deux approches méthodologiques ont été mises en œuvre. La première permet d'établir une délimitation précise et harmonisée des lagunes méditerranéennes. La seconde vise à élaborer une carte exhaustive des régimes spatiotemporels des eaux de surface au sein des enveloppes lagunes, qui auront été préalablement identifiées lors de la première phase.

3.1 Zone d'étude

La cartographie des lagunes côtières porte sur l'ensemble du littoral méditerranéen français (Figure 1), à savoir les 3 régions : Occitanie, Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur et Corse. Les sites Natura 2000 s'y trouvant ont fait l'objet d'une attention toute particulière, du fait du manque de connaissances sur ces milieux et notamment les lagunes temporaires.



Figure 1. Zone d'étude (source : Pôle-relais lagunes méditerranéennes)

3.2 Données

3.2.1 Images satellitaires

Dans le cadre de ce travail, seules les images optiques Sentinel-2 (S2) ont été utilisées. Elles proviennent des deux satellites : Sentinel-2A et Sentinel-2B. Ces derniers ont été développés par l'Agence Spatiale Européenne (ESA), dans le cadre du programme de surveillance de la Terre Copernicus, financé par l'Union Européenne. Ils possèdent un capteur multi-spectral (MSI) et sont caractérisés par une haute répétitivité temporelle (~5j au-dessus de la zone d'étude). La résolution spatiale va de 10 m à 60 m, selon la bande spectrale (Tableau I).

Tableau I. Récapitulatif des caractéristiques spectrales du capteur MSI des satellites Sentinel-2.

Sentinel-2													
nom des bandes	Coastal/Aerosol	Blue	Green	Red	Vegetation Red Edge			NIR	Narrow NIR	Water vapour	SWIR-Cirrus	SWIR	
numéros des bandes	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B8a	B9	B10	B11	B12
Centre λ (nm)	443	490	560	665	705	740	783	842	865	945	1375	1610	2190
Largeur λ (nm)	20	65	35	30	15	15	20	115	20	20	30	90	180
Résolution spatiale (m)	60	10	10	10	20	20	20	10	20	60	60	20	20
Résolution temporelle	5 jours												

Ces images permettent de nombreuses applications, en majorité pour les surfaces continentales dont la caractérisation de la végétation et des surfaces en eau. De plus, le fait d'avoir une haute fréquence temporelle, combinée à une fauchée de 290 km, permet d'avoir une couverture territoriale complète plusieurs fois par an. Par ailleurs, le satellite Sentinel-2A ayant été lancé en juin 2015 (le 2B en mars 2017), ces données sont donc disponibles depuis près de 6 ans maintenant.

Les images utilisées ici ont été acquises via la Plateforme d'Exploitation des Produits Sentinel (PEPS), développée par le Centre National d'Etudes Spatiales (CNES). Celle-ci permet de distribuer les données des missions Sentinel-1, 2 et 3 et possède une politique facilitant l'accès à différentes données d'Observation de la Terre de manière libre et gratuite. En outre, l'ensemble des images ont été corrigées des effets atmosphériques en haute atmosphère (TOA : *Top Of Atmosphere*).

Pour les besoins de l'étude, le choix a été fait de travailler sur une hydropériode sur 3 ans, incluant les années 2018, 2019 et 2020. Ce dernier est lié au fait que certaines années sont considérées comme suffisamment sèches et d'autres suffisamment humides (respectivement 2020 et 2018, d'après les relevés de la station météorologique de la Tour du Valat) et cela permettrait de représenter au mieux les variations des niveaux d'eau pouvant être observées.

Concernant le choix des images satellitaires, deux critères ont été appliqués : temporel, avec le choix d'acquérir au moins une image chaque mois et que celle-ci soit « exploitable », avec une couverture nuageuse la plus faible voire absente au niveau de la zone d'intérêt.

3.2.2 Critères retenus pour la délimitation de l'habitat 1150-2*

Pour la délimitation de l'habitat 1150*-2 « Lagunes côtières méditerranéennes », cette étude s'est basée sur la définition donnée par l'UMS PatriNat. Elle prend en compte :

- Les étendues d'eau côtières (dont celles sur les dunes)
- La connexion limitée avec le milieu marin (ex. les chenaux et les passes)
- Les anciens marais salants (ayant pour origine une lagune naturelle)
- Les bassins remembrés ou artificialisés (ayant pour origine une lagune naturelle)
- Les lagunes ouvertes

Toutefois, par souci de standardisation de l'approche de délimitation des lagunes méditerranéennes, un certain nombre de critères ont été ajoutés (en plus de ceux détaillés précédemment), essentiellement sur la base des nombreuses réunions de cadrage, effectuées avec l'équipe encadrant cette étude, ainsi que des retours suite aux échanges avec quelques gestionnaires des trois régions. Ceux-ci sont résumé ci-dessous :

- Les dépressions, où l'eau présente une période de l'année ;
- Les canaux et les chenaux artificialisés ont été exclus de la délimitation de l'habitat 1150*-2 opérée ici. Toutefois, si le canal permet la connexion à la mer, il est alors inclus avec « l'unité lagune » à laquelle il appartient ;
- La végétation émergente (ex. les roselières) n'a pas été prise compte dans le présent protocole méthodologique, même si la définition utilisée comme base de référence ici inclut les communautés végétales se développant dans la partie asséchée des lagunes (Barré et *al*. 2020). En effet, celle-ci rendant le milieu moins ouvert, il serait donc difficile d'y mesurer avec précision les dynamiques des eaux de surface ;
- Les lagunes ayant une activité salicole toute l'année ont également été exclus des critères de décision utilisés ici.

3.3 Matériels

Le prétraitement (par coregistration) et la segmentation des images Sentinel-2 ont été faits avec le logiciel GEOclassifier©, dont les principales composantes sont intégrées au sein de l'environnement ArcGIS 10.x. Ce dernier a été développé par l'entreprise Jena-Optronik GmbH, en collaboration avec d'autres partenaires dont la Tour du Valat, dans le cadre de deux projets européens spécialement dédiés au suivi des zones humides avec les outils d'OT : le projet GlobWetland-II 2010-2014 (GW-II, financé par l'ESA) et le projet Satellite-based Wetlands Observation Service 2015-2019 (SWOS, financé par le programme de recherche Horizon-2020 de la Commission Européenne). L'ensemble des traitements des données géoréférencées ont été effectués avec le logiciel ArcGIS 10.3, à l'exception des corrections atmosphériques opérées sur certaines images Sentinel-2 Niveau 1C, à l'aide du plugin SCP (*Semi-automatic Classification Plugin*) disponible sur le logiciel QGIS, ainsi que l'extraction de certaines variables statistiques, réalisée avec le plugin *Zonal Statistics*.

3.4 Traitements et analyses

3.4.1 Délimitation des lagunes

Cette section détaille les différentes étapes de traitement des séries temporelles Sentinel-2, ayant permis la production d'une enveloppe harmonisée à l'échelle des trois régions et délimitant les lagunes côtières méditerranéennes. C'est, pour l'essentiel, ce résultat qui a été

présenté et discuté avec les gestionnaires, lors de différentes entrevues bilatérales entre juin et mi-août 2021.

3.4.1.1 Prétraitement des images

Un premier prétraitement consiste à regrouper les bandes spectrales (B2, B3, B4, B5, B6, B7, B8, B11 et B12) et la création de rasters multi-bandes, qui seront utiles pour les étapes suivantes. Afin de faciliter les traitements, le choix a été fait de toutes les utiliser avec une résolution spatiale à 20 m (y compris pour celles disponibles à 10 m).

Suite à cela, les séries temporelles couvrant la même scène ont été coregistrées, à l'aide des outils disponibles sur GEOclassifier. Cette étape permet d'aligner étroitement les images (correspondant à des dates différentes mais couvrant le même territoire), afin que leurs pixels puissent se superposer les uns aux autres, sans trop de décalage spatial. Il s'agit d'un prétraitement essentiel pour effectuer correctement la segmentation des images.

En outre, pour accélérer le temps de traitement, un buffer « zone côtière » a été créé pour masquer les parties du territoire couvertes par les images S2, mais n'appartenant pas à la zone d'étude. Ce dernier a été développé à partir du fichier définissant précisément le trait de côte, avec une distance de 30 km vers l'intérieur des terres et 10 km vers le large. Ce buffer permet donc de fluidifier la chaîne de traitement, en allégeant considérablement la taille des données.

Enfin, les corrections radiométriques et atmosphériques des images sont une étape nécessaire pour le calcul de l'indice Water In Wetlands (WIW) qui sera utilisé lors de cette étude. Celles-ci ont pour objectifs principaux de minimiser les différences entre les images dues aux conditions de prises de vue (ex. éclairement solaire, angles...), de phénomènes de diffusion (ex. Rayleigh, Mie, Non sélective) ou d'absorption (Girard et *al*., 2004). Étant donné que les images S2 acquises ici sont de niveau 1C, c'est-à-dire fournies dans la réflectance TOA, elles nécessitent donc une correction atmosphérique DOS (*Dark Objects Substraction*). Celle-ci consiste à repérer les objets ayant des réflectances les plus faibles (Chavez, 1996). Cependant, afin d'améliorer le calcul des différents paramètres, il est recommandé d'effectuer ces corrections sur l'ensemble de l'image, avant de les découper à l'aide du buffer « zone côtière ». L'ensemble de ces corrections ont été effectuées à l'aide du plugin SCP sur QGIS.

3.4.1.2 Segmentation

La première étape de traitement des séries temporelles S2 consistait à opérer une segmentation sur chaque scène couverte. Celle-ci permet de la découper en polygones relativement homogènes d'un point de vue spectral et, étant donné que cette approche intègre des images multi-date 2018-2020, ce découpage se base alors sur les trois variables : spatiale, spectrale et temporelle au niveau des pixels. Afin de trouver les valeurs qui présentent le meilleur rapport entre la taille des polygones et leur homogénéité (n'intégrant qu'un seul type d'habitat à la fois), plusieurs tests ont été réalisés sur les deux principaux paramètres :

- La tolérance (*Tolerance value*) : Ce paramètre permet de regrouper les pixels dans un polygone en fonction de leurs valeurs spectrales. Plus sa valeur est grande, plus l'écart entre le minimum et le maximum est important. Ainsi, la tolérance définit la différence spectrale maximale acceptée dans chaque polygone, pour chacune des bandes spectrales utilisées. Une petite valeur de tolérance (ex. 100 à 400 pour des images codées sur 16 bits) permet donc d'obtenir des polygones de taille réduite et de classer séparément des entités dont les signatures spectrales seraient relativement proches. Inversement, en prenant une valeur de tolérance élevée (ex. 1500 à 3000 pour des images codées sur 16 bits), on réduirait le nombre total de polygones, tout en augmentant considérablement leur taille moyenne. L'idéal serait alors de trouver un optimum entre le nombre total et la taille moyenne des polygones. Après plusieurs tests, celui-ci a été fixé à 500.
- La surface cartographique minimum (*Minimum Mapping Unit* ou MMU) : Ce paramètre correspond à la taille du plus petit polygone pouvant être identifié sur les résultats de la segmentation. Les objets dont la taille est inférieure à celle définie comme MMU, seront fusionnés avec le segment voisin ayant les caractéristiques spectrales les plus proches. Ce paramètre permet de modifier la quantité de détails caractérisant une entité (Granger, 2018). Après plusieurs tests, la valeur du MMU a été fixée à 0.1 ha.

3.4.1.3 Photo-interprétation et échange avec les gestionnaires

Sur la base des résultats de la segmentation, les polygones correspondant à l'habitat 1150*-2 (d'après les critères définis précédemment) ont été sélectionnés par photo-interprétation. Celle-ci ayant été considérée comme la méthode la plus rapide pour intégrer les informations structurelles. Cela changera peut-être dans les prochaines années, notamment par l'intégration de méthodes basées sur l'Intelligence Artificielle. Mais pour répondre à la demande actuelle, l'interprétation visuelle des images reste la méthode la plus fiable et la plus adaptée au besoin de cette mission.

À partir de images multi-spectrales combinées et des résultats de la segmentation, les polygones ayant des caractéristiques proches de celles de l'habitat 1150*-2 (décrites précédemment) ont été alors sélectionnés. Ce travail de photo-interprétation était aussi appuyé par les nombreuses données auxiliaires collectées (cartes et couches d'habitats et de l'occupation du sol fournies par les gestionnaires, données et informations sur les zones humides côtières disponibles au sein de la Tour du Valat et du PRLM, etc.).

De plus, afin d'aider cette photo-interprétation des outils en ligne (tels que le géoportail https://remonterletemps.ign.fr, ou encore les images à très haute résolution Bing et Google Earth) ont également permis d'apporter des informations complémentaires précieuses, pour une meilleure identification de l'habitats 1150*-2.

Enfin, pour valider les enveloppes délimitant les lagunes côtières méditerranéennes obtenues, de nombreux entretiens bilatéraux ont été organisés avec les gestionnaires et les animateurs des sites Natura 2000 présents sur l'ensemble du territoire (Annexe 4). Grâce à leur grande connaissance du terrain, ces entrevues ont permis donc (en plus de la présentation des résultats)

de valider l'enveloppe obtenue, notamment suite à de nombreux échanges concernant des zones « problématiques ».

3.4.2 Suivi des dynamiques spatio-temporelles des eaux de surface

Dans une deuxième étape, les mêmes séries temporelles S2 (utilisées pour la segmentation), ont été retraitées afin de cartographier les dynamiques spatiotemporelles des eaux de surface au sein des enveloppes lagunes pré-identifiées lors de la phase précédente. Ceci à travers la mise en œuvre de l'indice spectral WIW (Water In Wetlands), développé par la Tour du Valat, en partenariat avec l'université d'Angers, pour le suivi des zones humides méditerranéennes (Lefebvre et *al*., 2019).

3.4.2.1 Calcul de l'indice WIW

Il existe de nombreux indices spectraux pour identifier la présence d'eau à partir de données satellitaires optiques. Outre leur précision, le choix de les utiliser, plutôt que d'autres méthodes de classification plus classiques pour extraire ce type d'information à partir des images satellitaires, s'explique essentiellement par la simplicité de la mise en œuvre. En effet, une classification supervisée est une méthode pour laquelle il est, généralement, nécessaire de posséder un échantillonnage terrain. Dans le cas d'un indice spectral, leur déploiement simple et rapide sur de grandes aires géographiques s'avère donc être un avantage certain ici.

Concernant le présent travail, le choix s'est porté sur l'indice WIW, car il a été démontré que sa performance pour détecter l'eau sous un couvert de végétation dense est supérieure, en comparaison avec d'autres indices de la littérature, tels que les NDWI (*Normalized Difference Water Index*) ou le MNDWI (*Modified Normalized Difference Water Index*). Cela est dû à l'intégration de la bande B8A, plus performante dans les eaux turbides que la B8, plus couramment utilisée par les autres indices (Lefebvre et *al*., 2019).

Pour le calcul de l'indice WIW, seules deux bandes spectrales des images S2 sont exploitées : B8A (865 nm) et B12 (2 190 nm). La méthode de calcul des hydro-périodes a été développée par la Tour du Valat et il conviendra donc de s'y référer ici. Pour chaque date donc, les bandes B8A et B12 sont combinées par contrôle conditionnel (Figure 2), pour obtenir une seule image binaire appelée « *Water Mask* » (WM).

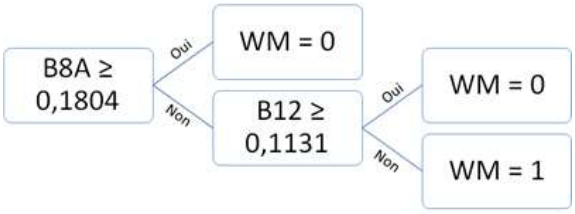


Figure 2. Arbre de décision permettant le calcul de l'indice WIW à partir des images S2 (Lefebvre et *al*., 2019).

Ainsi, pour chaque image, on obtient un raster binaire représentant d'une part les pixels en eau libre, avec une valeur de 1 et d'autre par les pixels secs, avec une valeur de 0. Ce raster binaire permet donc de visualiser, pour chaque date d'acquisition, l'étendue totale des surfaces en eaux libres.

3.4.2.2 Assemblage des rasters WIW et cartographie des dynamiques des eaux de surface

Pour chacune des scènes couvrant la zone d'étude, les raster WIW, obtenus pour l'ensemble des images acquises entre de 2018 et 2020, ont été sommés pixel à pixel afin de produire une seule carte pour l'ensemble de l'hydropériode (Davranche et *al*., 2013).

Une fois obtenue, l'information sur les superficies en eau, extraites pour chacune des scènes, permet de représenter la fréquence et l'étendue des eaux de surface pour chaque unité lagune.

Une fois les rasters WIW combinées pour chaque scène, les valeurs (comprises entre 0 et N, où N représente le nombre d'images ou dates d'acquisition en entrée) ont été normalisées entre 0 et 1. Cela permet d'harmoniser les résultats entre l'ensemble des scènes et de faciliter leur assemblage à l'échelle des trois régions. Ainsi, dans la carte finale, chaque pixel aura une valeur représentant le pourcentage d'inondation pour l'hydropériode analysée et cette information pourra être déclinée au niveau de chaque unité « lagune » identifiée.

3.4.2.3 Définition des classes d'inondation

Une fois la carte des dynamiques des eaux de surface 2018-2020 (*Surface Water Dynamics* ou SWD) obtenue pour l'ensemble des trois régions, la valeur moyenne pour chaque unité « lagune » a été calculée à l'aide du plugin *Zonal Statistics* sur QGIS. Celle-ci représente le pourcentage moyen d'inondation de chacune de ces unités pour l'hydropériode analysée et permet, ainsi, de mieux les caractériser en fonction des durées et des surfaces inondées.

Pour ce faire, des classes d'inondation ont été définies. Celles-ci se basent essentiellement sur les références les plus récentes, tel que rapport du Plan Régional d'Action en faveur de la conservation des Lagunes Temporaires méditerranéennes (PRA-LT) qui stipule que : « une lagune temporaire est une pièce d'eau qui s'assèche de 1 à 6 mois en période estivale sur une année » (Allies, 2020). À partir de cette définition, le choix a aussi été fait d'intégrer des classes intermédiaires, telles que « Semi-temporaire », ou encore « Jamais/Rarement inondées ».

Quatre classes d'inondation ont ainsi été définies :

- « Jamais/Rarement inondée » [0% - 8.333%[; correspond aux lagunes qui ont une durée d'inondation inférieurs à 3 mois sur l'hydropériode 2018-2020.
- « Temporaire » [8.333% - 50%[
- « Semi-Permanente » [50% - 75%[
- « Permanente » [75% - 100%]

4 Résultats

4.1 Délimitation des lagunes côtières méditerranéennes

La segmentation, suivie du travail de photo-interprétation et d'échange avec des gestionnaires, a permis d'extraire des enveloppes délimitant les lagunes côtières méditerranéennes pour chacune des 14 scènes S2. Celles-ci ayant été, par la suite, assemblées dans une seule couche géographique couvrant les trois régions concernées par cette étude (Figures 3, 4 et 5).

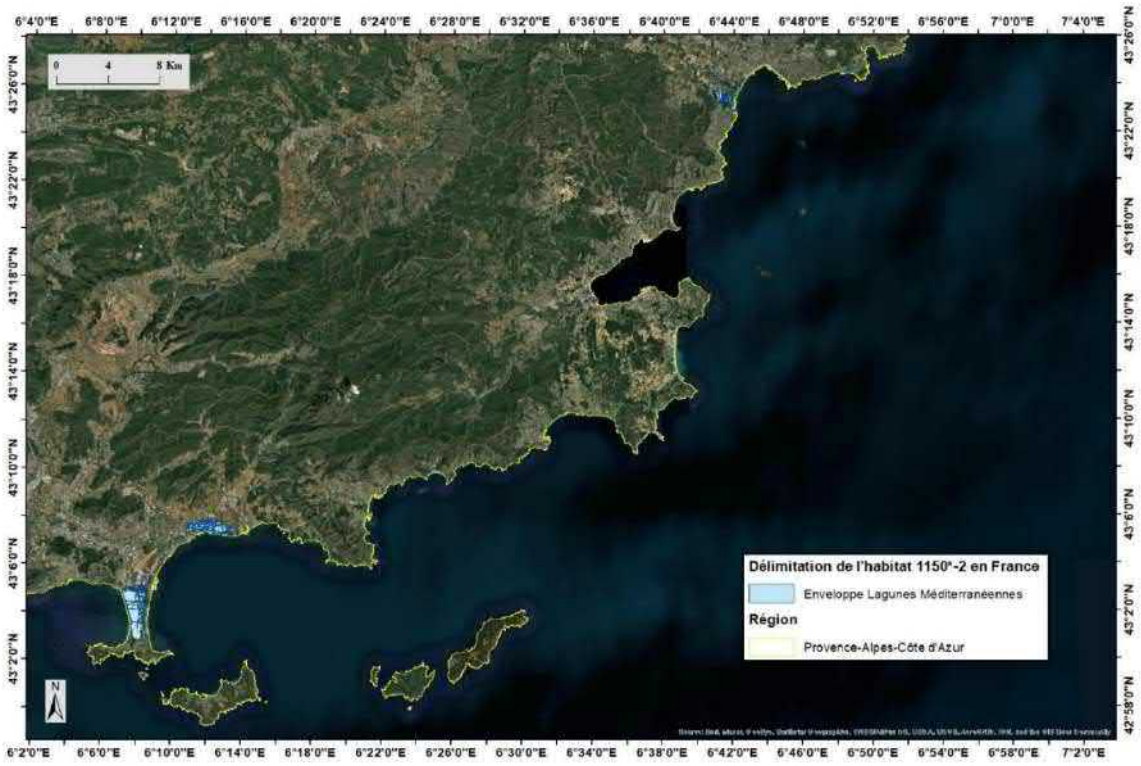


Figure 3. Délimitation des lagunes côtières à l'ouest de la région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur.

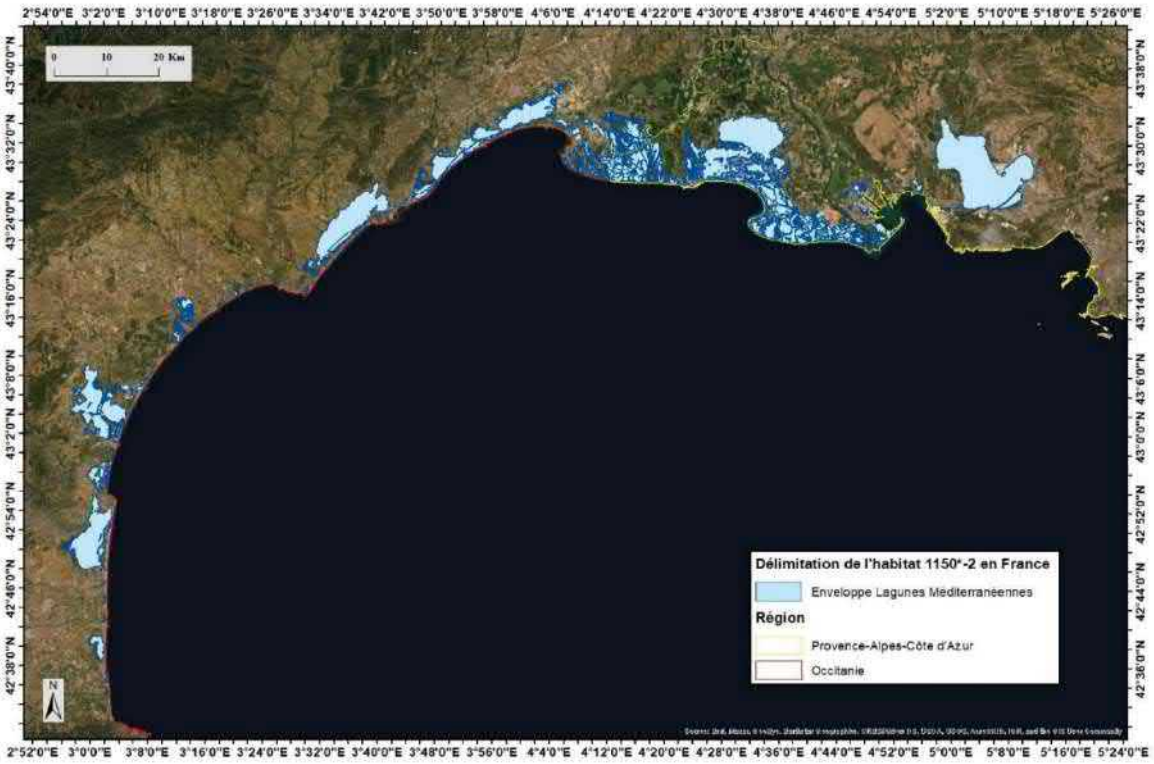


Figure 4. Délimitation des lagunes côtières en Occitanie et à l'est de la région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur.

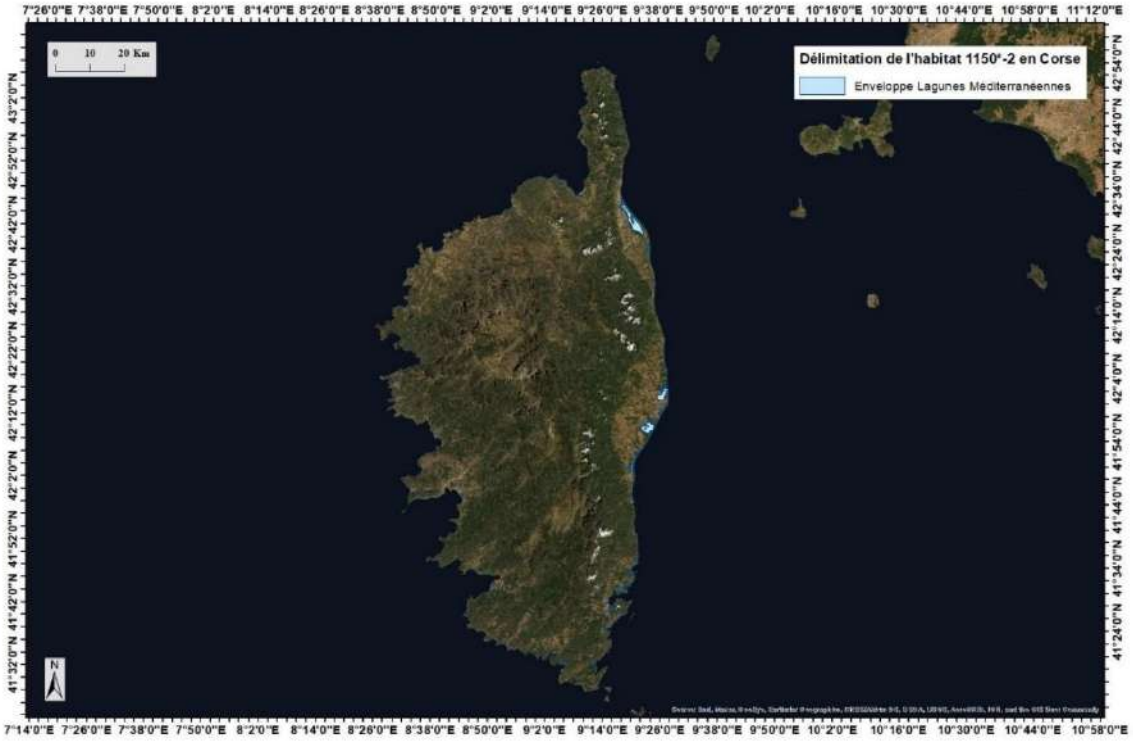


Figure 5. Délimitation des lagunes côtières en Corse.

Selon les résultats obtenus, la superficie couverte par l'habitat 1150*-2 sur l'ensemble de la façade méditerranéenne française est de 85 765 ha, avec 46 205 ha en région Sud Provence-

Alpes-Côte d'Azur, 36 080 ha en Occitanie et 3 480 ha en Corse. Même si la région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur enregistre la superficie en lagunes la plus importante, celle-ci est concentrée essentiellement au niveau du département des Bouches-du-Rhône. Dans les deux autres régions (Occitanie et Corse), cette superficie est plus dispersée sur les territoires.

4.2 Cartographie des dynamiques des eaux de surface

La Figure 6 représente les dynamiques des eaux de surface (ex. la Camargue), extrait à l'aide de l'indice WIW. Grâce à cette carte, il est donc possible de représenter les niveaux d'inondation pour chaque unité lagune (Annexe 1), ceux-ci correspondant aux pixels en fonction de la durée à laquelle ils ont été en eau entre 2018 et 2020 (en %).

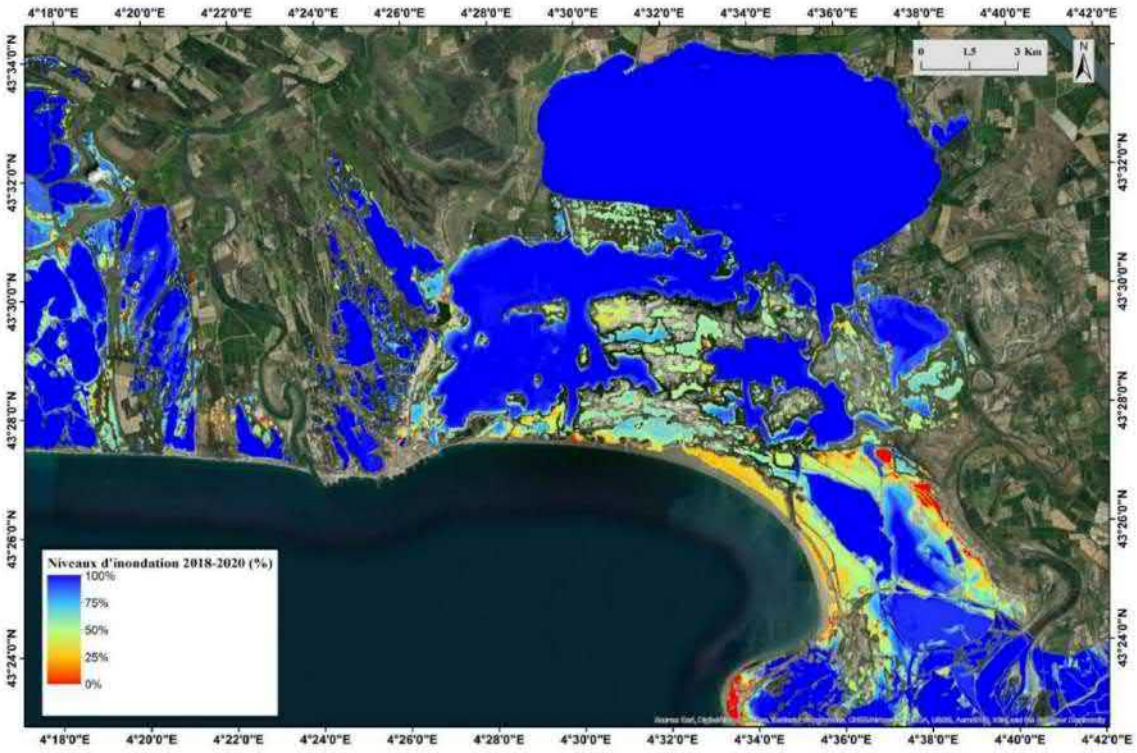


Figure 6. Durée d'inondation pixel par pixel en Camargue 2018-2020 (en %).

Reporté à l'échelle de chaque unité lagune, il est également possible de représenter le niveau moyen de submersion, en calculant la valeur moyenne (en %) à partir de l'ensemble des pixels au sein de chaque polygone (Figure 7 et Annexe 2).

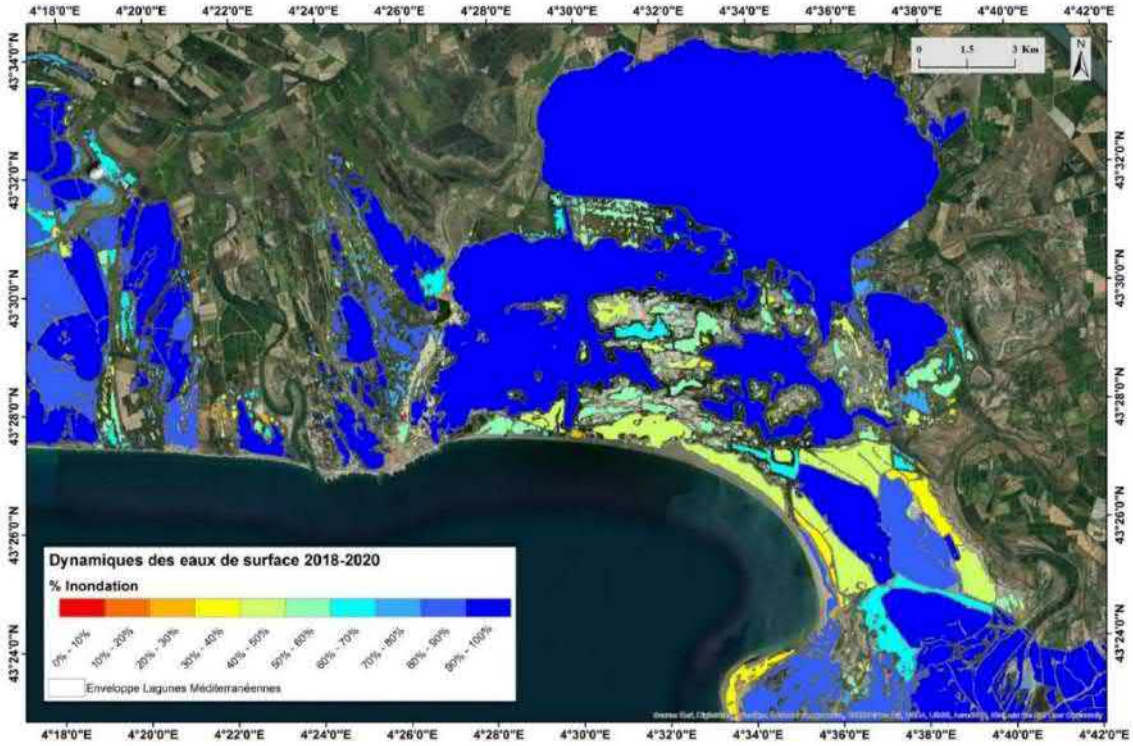


Figure 7. Niveaux d'inondation moyen à l'échelle de chaque unité lagune en Camargue 2018-2020 (en %).

La Figure 8 représente la répartition du nombre d'unités lagunes, en fonction des classes d'inondation moyenne auxquelles elles appartiennent. Selon ces résultats, une majorité de lagunes identifiées (plus de 1 150 sur 3 281, soit 35 % d'entre elles) ont été en moyenne en eau plus de 80 % du temps. Dans le même temps, on note que près de 7 % des lagunes cartographiées ont été submergées moins du tiers du temps entre 2018 et 2020.

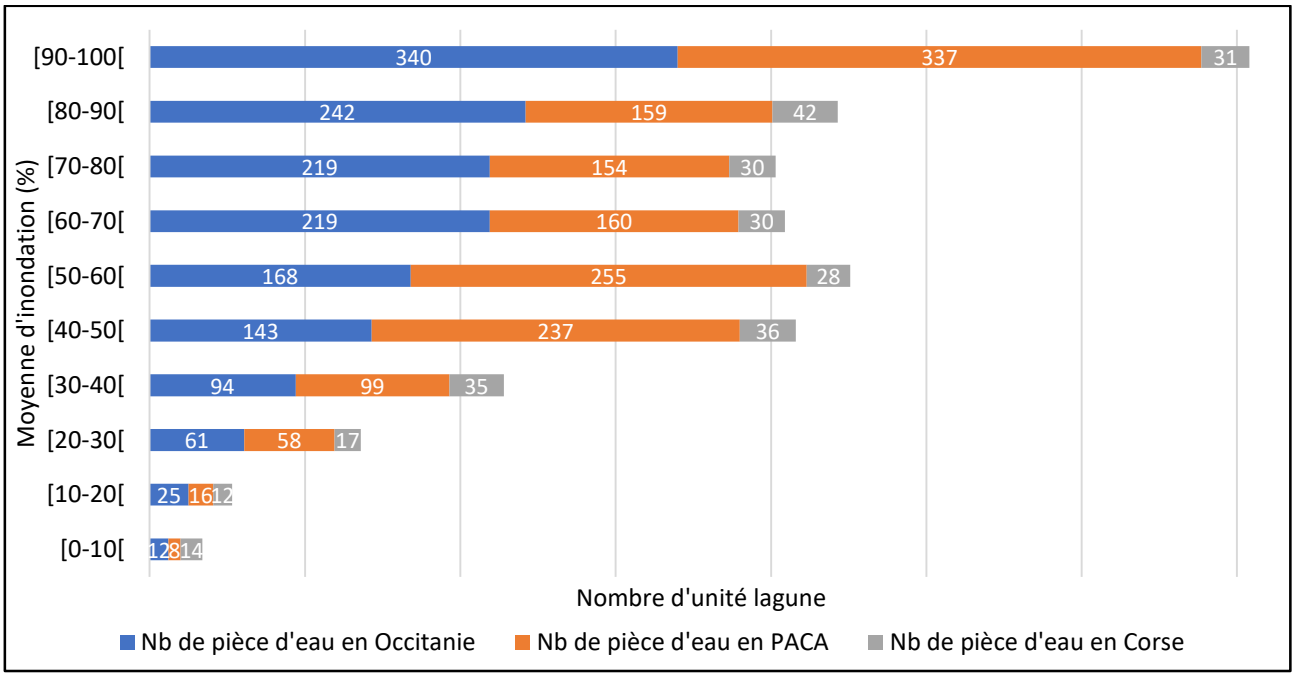


Figure 8. Nombre d'unités lagunes en fonction de la moyenne d'inondation 2018-2020 (Méditerranée française).

Selon la Figure 9, sur l'ensemble des lagunes méditerranéennes identifiées, les résultats suggèrent qu'une grande majorité est inondée en permanence (92 % couvrant une superficie de 78 653 ha). En parallèle, la superficie des lagunes considérées comme inondées temporairement représente 3 % (soit 2 842 ha) et les semi-permanentes environ 5 % (soit 4 253 ha).

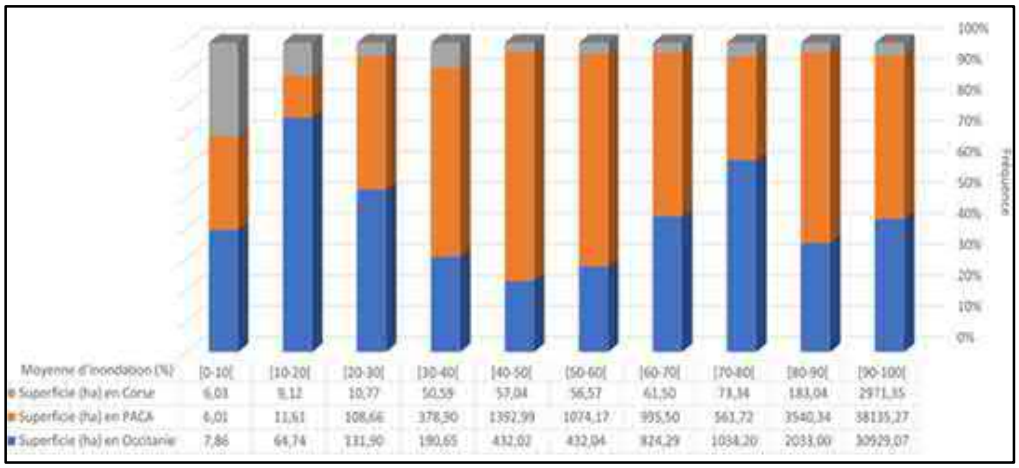
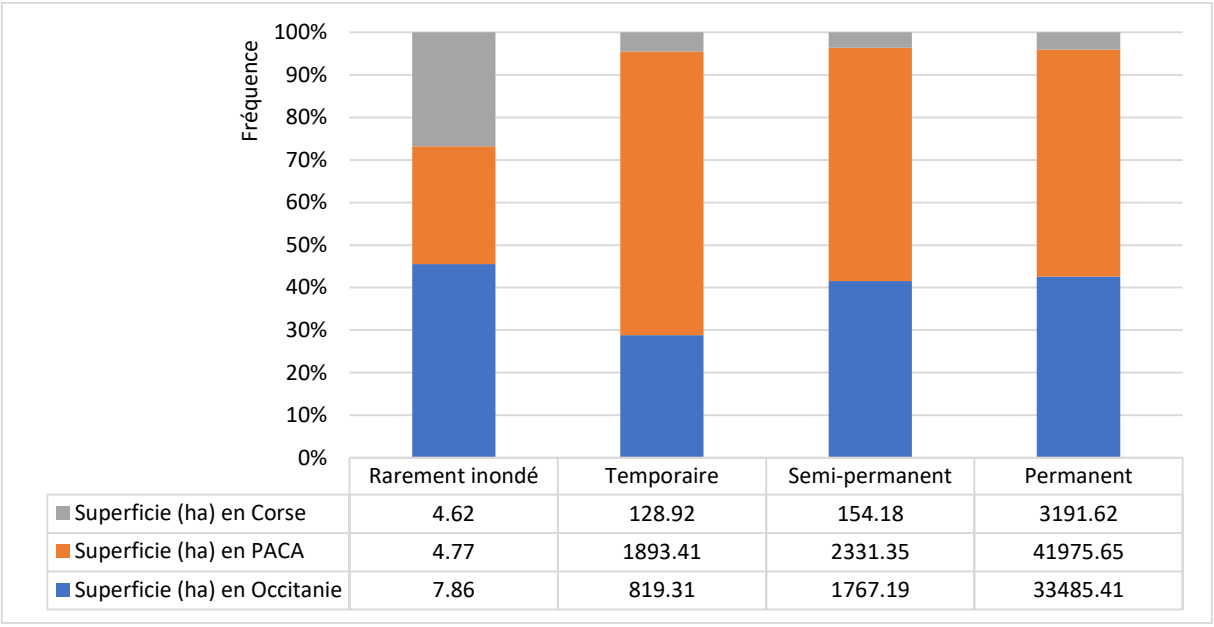


Figure 9. Superficies des lagunes en fonction des % d'inondation 2018-2020, déclinées pour chacune des 3 régions méditerranéennes françaises.

4.3 Discussion des résultats avec les gestionnaires

La typologie utilisée dans cette étude permet de définir 4 classes d'inondation. Selon cette dernière, c'est en région Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur où l'on constate une importante proportion des lagunes possédant un régime d'inondation permanent, semi-permanent et, surtout, temporaire. Cette proportion reste relativement importante en Occitanie aussi, là où l'on observe aussi 0,02% des lagunes côtières identifiées (soit 7,86 ha) appartenant à la classe « Rarement/Jamais inondées ». Ceci pourrait être lié à la présence de nombreuses petites pièces d'eau, rarement inondées, en périphérie des lagunes principales dans cette région (ex. Complexe lagunaire de la Narbonnaise). Enfin en Corse, cette dernière classe représente même la majorité des unités lagunes identifiées (Figure 10).



	Rarement inondé	Temporaire	Semi-permanent	Permanent
Superficie (ha) en Corse	4.62	128.92	154.18	3191.62
Superficie (ha) en PACA	4.77	1893.41	2331.35	41975.65
Superficie (ha) en Occitanie	7.86	819.31	1767.19	33485.41

Figure 10. Nombre des unités lagunes et leurs superficies en fonction des % et des classes d'inondation 2018-2020, déclinées pour chacune des 3 régions méditerranéennes françaises.

Les cartes et résultats obtenus ont permis de confirmer certains propos recueillis à la suite des entrevues avec les gestionnaires. En effet, plus les lagunes sont isolées, plus la probabilité qu'elles soient temporaires est importante (ex. de Grande Maïre en Figure 11).

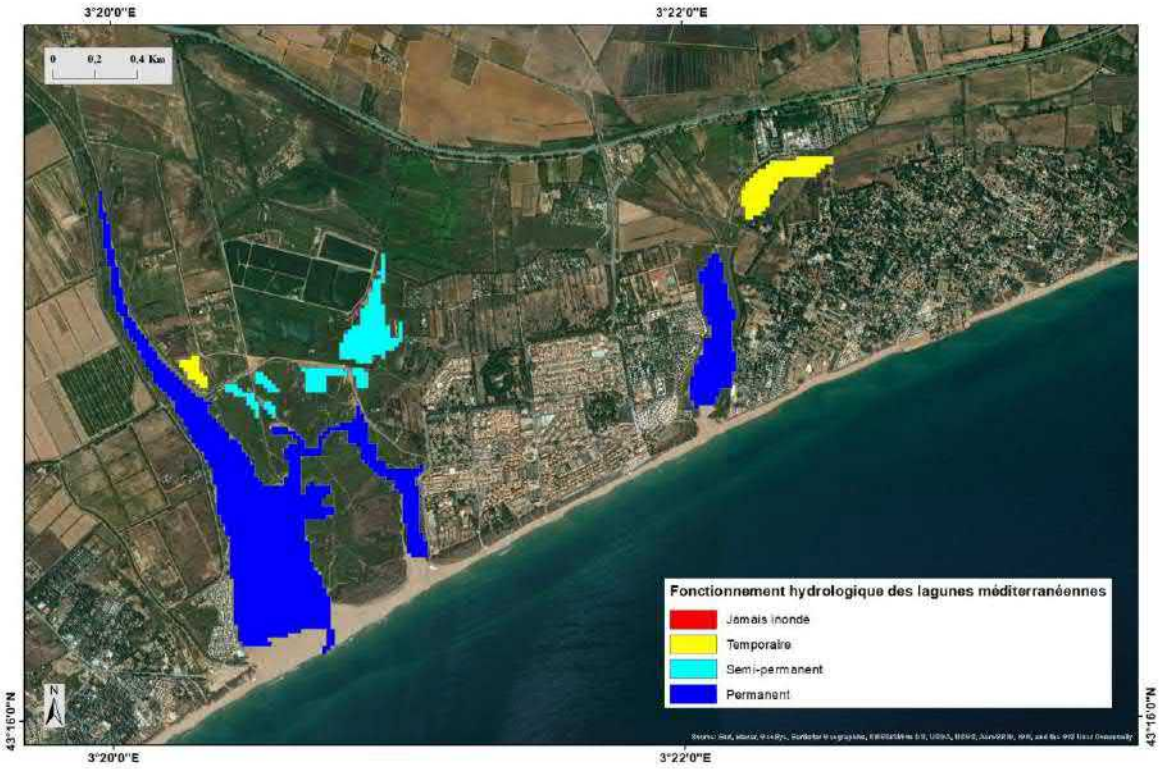


Figure 11. Catre des unités lagunes de la Grande Maïre en fonction des classes d'inondation définies.

Enfin, le rendu de ce travail permettra à certains gestionnaires de compléter et/ou d'améliorer les informations de base utilisées pour leurs DOCOB. A titre d'exemple, en comparant les cartes du DOCOB de la Plaine de l'Aude (2019), avec les résultats obtenus ici et suite aux échanges

effectués avec le gestionnaire concerné, il s'avère que, dans les références du DOCOB, il manquerait une grande partie des lagunes considérées comme temporaires (Figures 12 et 13).

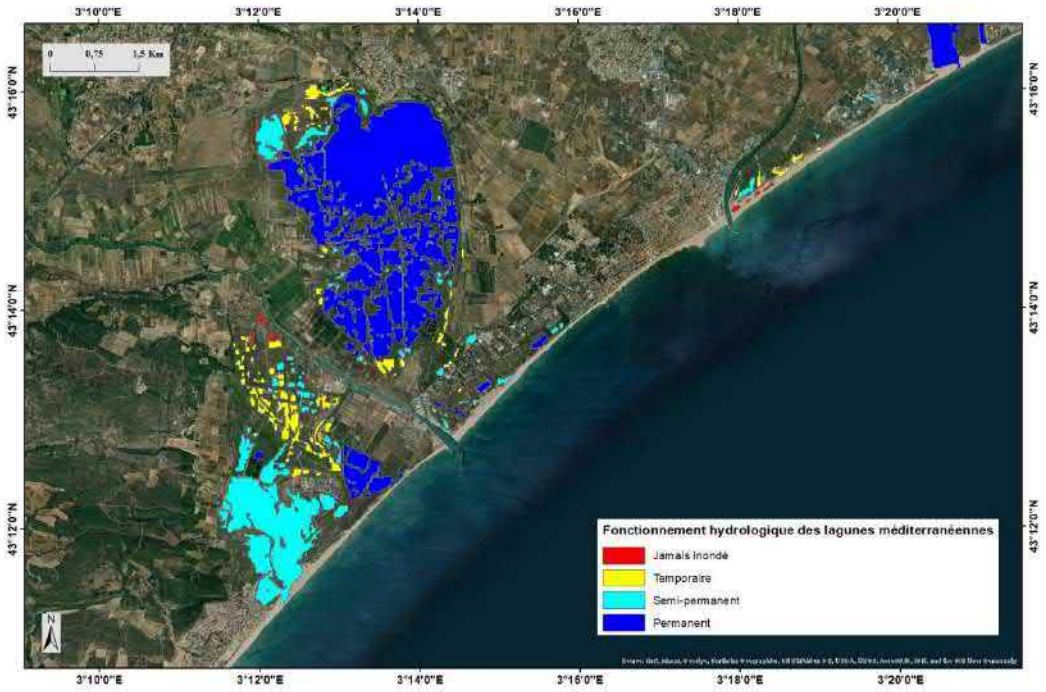


Figure 12. Catre des unités lagunes de la Plaine de l'Aude en fonction des classes d'inondation définies.



Figure 13. Lagunes côtières de la Plaine de l'Aude, d'après le DOCOB (2019).

5 Discussion

5.1 Approche

Les outils de la télédétection apportent un ensemble de connaissances et de techniques qui ont permis de déterminer les caractéristiques physiques et hydrologiques des lagunes par des mesures à distance. Cette étude a permis d'estimer, à partir des images S2, les superficies des eaux de surface au sein de cet habitat sur l'ensemble de la façade méditerranéenne française, pour l'hydropériode 2018-2020. Notamment, grâce à l'application de l'indice spectral *Water In Wetlands* (WIW), développé par la Tour du Valat et qui a la capacité de révéler la présence d'eau sous un couvert végétal peu à moyennement dense (Lefebvre et *al*., 2019). En outre, avec leur haute résolution temporelle (temps de retour ~5j) et la large couverture spatiale (fauchée de 290 km), l'utilisation des images S2 présente aussi un grand intérêt pour la caractérisation de l'habitat 1150*-2 à grande échelle et un suivi plus fin et plus harmonisé de son fonctionnement hydrologique. Enfin, l'indice WIW étant aussi disponible pour les séries temporelles Landsat OLI, ETM et TM, des analyses rétrospectives peuvent aussi être envisagées, en remontant jusqu'à 30-35 ans en arrière, analyser les dynamiques interannuelles et compléter le manque de connaissances sur les lagunes méditerranéennes et leur fonctionnement hydrologique, notamment les lagunes temporaires.

5.2 Limites

En appliquant la méthodologie développée ici, certaines limites ont pu être constatées d'un point de vue technique et d'interprétation. Tout d'abord, la résolution de 20 m des images S2 ne permet pas d'identifier et/ou de délimiter avec précision les petites lagunes. C'est le cas pour la région Corse, où certaines lagunes, de tailles très réduites, n'ont malheureusement pas pu être détectées avec l'approche méthodologique déployée.

Toutefois, compte-tenu de l'échelle spatiale couverte par la présente étude (les trois régions méditerranéennes françaises), l'intérêt était aussi de trouver le meilleur compromis entre les caractéristiques des données en entrée (résolutions spatiale et spectrale), leur disponibilité (aux échelles spatiales et temporelles souhaitées), le temps nécessaire pour leur traitement et la nécessité d'avoir des résultats les plus exhaustifs et harmonisés possible. En effet, le travail sur la base d'images à très haute résolution spatiale (sub-métrique telles que les images Pléiades ou les ortho-photos par exemple), aurait été beaucoup plus couteux en temps et en budget, sans forcément permettre une caractérisation fine de l'hydrologie de surface des lagunes méditerranéennes (absence d'une répétitivité accrue dans l'acquisition de la donnée), ni une couverture spatiale exhaustive (qui était un des objectifs essentiels de ce travail).

L'autre limite liée à la méthodologie utilisée ici, est la photo-interprétation des lagunes côtières qui reste, pour partie, assez subjective, malgré l'intégration de critères objectifs dans les définitions adoptées. Les étangs du Charnier et Scamandre (en Camargue Gardoise) en sont un bon exemple. Considérés comme des lagunes pour les uns (c'est le cas pour le classement

de ces masses d'eau de transition dans le cadre de la DCE), mais pas pour d'autres spécialistes, y compris dans le cadre de la présente étude. En outre, pour cette dernière prévalait aussi l'impératif visant à développer une approche standardisée et éloignée le plus possible du « cas par cas », avec le choix, par exemple, d'exclure ce type de masses d'eau (étangs du Charnier et Scamandre) de l'enveloppe « Lagunes côtières méditerranéennes » et, par conséquent, toutes celles qui présenteraient des caractéristiques similaires dans l'ensemble des trois régions.

Éventuellement, à la suite de ce travail pourront être soumis à nouveau des cas concrets et « problématiques » si besoin. *In fine*, cela impliquerait même la possibilité de proposer à l'OFB/UMS PatriNat de modifier la note d'interprétation de l'habitat 1150*-2, sur la base des résultats obtenus ici, quant à l'identification et la délimitation de cet habitat. D'autant plus que certains de ces cas concrets apportent de réels défis d'interprétation. On peut citer, à titre d'exemple, les embouchures des petits fleuves côtiers (ex. la Têt, le Tech, ou encore le Bourdigou). Selon la note de l'UMS PatriNat, si le cordon dunaire se ferme, il faudrait les classer en habitat 1150*-2. Selon d'autres références, il s'agit plus de micro-estuaires (comme ceux rencontrés en Corse par exemple) et ne rentrent donc pas dans la catégorie 1150*-2. D'ailleurs, cette question s'avère tellement complexe à aborder, qu'il est même prévu de déposer un projet de recherche sur cette problématique pour la région Corse.

5.3 Perspectives

En plus de donner plus d'exhaustivité à l'enveloppe globale des lagunes permanentes et temporaires, les résultats cartographiques obtenus ici pourraient servir à d'autres projets en cours. A titre d'exemple, dans le cadre du projet d'amélioration des connaissances sur la continuité écologique en marais littoraux, l'OFB, en partenariat avec le PRLM et le Pôle-Relais Marais d'Atlantique, Manche et Mer du Nord (Forum des marais atlantiques), mettent en place une méthode de cartographie des casiers hydrauliques (appelés aussi Unités Hydrauliques Cohérentes) à l'échelle des 2 façades. Les résultats détaillés ici pourraient alors faciliter le repérage des zones de marais, en y superposant la couche déjà existante de référencement des ouvrages hydrauliques[2]. Côté Corse, une étude portée par l'OEC est lancée autour de la cartographie des zones humides de ce territoire, incluant des campagnes terrain pour vérifier certains secteurs. En parallèle à cela, le projet MedIsWet, financé par la Fondation MAVA et porté par l'initiative PIM (Petites Iles de Méditerranée), visant à inventorier les principales zones humides des îles méditerranéennes, touche bientôt à sa fin (prévue pour novembre 2022). Dans ces deux derniers cas, les rendus de la présente étude (délimitations des lagunes côtières, mais également la caractérisation de leur hydrologie de surface) pourraient constituer une base de connaissance très utiles pour le développement de ces projets d'inventaire et/ou la validation de leurs résultats.

[2] Le référencement des obstacles à l'écoulement (ROE) est réalisé à l'échelle nationale en cours d'eau et marais littoraux, il est visible sur le portail (SIG) du réseau partenarial des données sur les zones humides piloté par le Forum des Marais Atlantiques. http://sig.reseau-zones-humides.org/

En régions Occitanie et Sud Provence-Alpes-Côte d'Azur, le PRA-LT, lancé en 2018 par le CBN Méditerranée, devrait aboutir en 2021. Les résultats de cette initiative, ainsi que ceux de la présente étude seront discutés ensemble, afin de tendre vers une meilleure harmonisation des concepts et définitions permettant de délimiter de l'habitat 1150*-2. Aussi, au niveau de ces mêmes deux régions, une autre étude est en cours avec le bureau d'étude i-Sea autour du développement d'approches basées sur les outils d'OT pour le calcul des indicateurs « surface des herbiers » et « nature des berges » des lagunes. Les délimitations des lagunes côtières méditerranéennes, ainsi que la caractérisation de leur hydrologie de surface, pourraient alors être très pertinentes dans le cadre de ces travaux, notamment afin de mieux adapter les protocoles pour les relevés terrain.

Enfin, il serait intéressant de poursuivre le travail initié ici, en développant davantage les connaissances sur quelques aspects. Plus spécifiquement, en testant des images à très haute résolution spatiale (ex. Pléiades) pour une détection et une délimitation plus précise des petites lagunes en Corse. Ou encore, en lançant une étude visant à évaluer l'état de conservation des lagunes côtières identifiées ici, avec une approche bassin versant. Un autre travail qui serait intéressant de réaliser, à la suite de ce stage, serait la création d'une application Web-SIG qui permettrait aux gestionnaires et aux acteurs concernés d'accéder facilement à toutes les informations sur la délimitation de l'habitat 1150*-2 et sur son fonctionnement hydrologique.

6 Conclusion

Les lagunes côtières méditerranéennes constituent un habitat complexe, à fort enjeu de conservation, mais dont beaucoup d'informations restent encore à acquérir. Dans cet optique, le PRLM, coordonné par la Tour du Valat, appuie la mise en œuvre de méthodologies visant à mieux comprendre et à suivre cet habitat et permettre, ainsi, d'en assurer une meilleure gestion et conservation.

La cartographie des lagunes côtières méditerranéennes et le suivi de leurs surfaces en eaux libres sont essentiels pour approfondir la compréhension de leur fonctionnement et de leurs dynamiques. Le présent travail a permis initier cela sur l'ensemble des régions méditerranéennes françaises, notamment à travers le déploiement d'approches innovantes basées sur les outils d'OT. Ceci a abouti à la création de cartes et de bases de données, qui serviront de référence pour l'évaluation de l'état de conservation de l'habitat 1150*-2 « Lagunes côtières méditerranéennes ».

Ainsi, un des principaux objectifs ici était de développer et de tester ces approches. Celles-ci intègrent l'utilisation massives des séries temporelles S2, afin de :

- Mieux délimiter, de manière standard et homogène, les lagunes côtières en se basant sur une méthode cartographique par segmentation. Il en ressort alors un chiffre plus précis de la surface occupée par cet habitat, en comparaison avec ce qui existe dans la littérature et bien que celui-ci soit encore perfectible ; et
- Caractériser les dynamiques spatiotemporelles des eaux de surface des lagunes identifiées pour l'hydropériode 2018-2020, à l'aide de l'indice spectral WIW. Grâce à la haute fréquence d'acquisition des images S2 (jusqu'à 36 images pour une même scène sur la période 2018-2020), il en résulte une cartographie très précise de leur hydrologie de surface, avec une caractérisation de son régime, selon qu'il soit « Permanent », « Semi-permanent », « Temporaires » ou « Jamais/Rarement inondées ».

Les résultats obtenus permettront ainsi aux gestionnaires de mieux comprendre le fonctionnement des lagunes côtières se trouvant dans leur site Natura 2000 et de suivre l'évolution de cet habitat. En effet, les cartes de référence produites ici vont permettre, pour les évaluations à venir, de savoir si la surface de l'habitat est en augmentation, stable ou en régression et même de préciser les types de lagunes les plus concernées par ces tendances. Cela peut permettre d'adapter leur gestion et d'avoir à disposition des données locales homogénéisées et, donc, comparables dans l'espace et dans le temps.

Bibliographie

AGENCE DE L'EAU RHÔNE MÉDITERRANÉE CORSE, 2001. *Agir pour les zones humides en RMC. Fonctionnement des zones humides. Première synthèse des indicateurs pertinents*. Lyon (FRA) : Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, 148p.

ALLIES, A., 2020. *Vers une meilleure connaissance des lagunes temporaires méditerranéennes : un habitat naturel menacé*. Rapport d'étude scientifique et technique. Montferrier sur Lez. Conservatoire botanique national méditerranéen de Porquerolles.

BARBIER, E.B., 2011. Wetlands as natural assets. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 56, n° 8, 1360-1373. https://doi.org/10.1080/02626667.2011.629787

BARRE, N., GARRIDO, M., RIERA, L., LOMBARDINI, K., MAUCLERT, V., LEPAREUR, F., 2020. *État de conservation des « Lagunes côtières » d'intérêt communautaire (UE 1150*) : Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000. Annexe façade méditerranéenne - Classeur technique*. Rapport UMS PatriNat - Muséum national d'Histoire naturelle, Pôle-relais lagunes méditerranéennes, 70p. http://85.31.222.100/alexandrie-7/dyn/portal/index.seam?page=alo&aloId=7496&fonds=&menu=&cid=1969

BELTRAME, C., PERENNOU, C. et GUELMAMI, A. 2015. Évolution de l'occupation du sol dans les zones humides littorales du bassin méditerranéen de 1975 à 2005. *Méditerranée*. n° 125, 97-111.

DAVRANCHE, A., POULIN, B. et LEFEBVRE, G. 2013. Mapping flooding regimes in Camargue wetlands using seasonal multispectral data. *Remote Sensing of Environment*. Vol. 138, 165-171. DOI 10.1016/j.rse.2013.07.015.

BENSETTITI, F., et *al*., 2004. *Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. 2 : Habitats côtiers*. Paris : Muséum national d'histoire naturelle. ISBN 978-2-11-005192-9.

GIRARD M. C., GIRARD C. M., GIRARD M.C., 2004. *Traitement des données de télédétection*. S.l. : Dunod Paris. ISBN 978-2-10-048452-2.

GRANGER A., 2018. *Cartographie des habitats naturels sur le domaine de la Tour du Valat*. Toulouse, France : Université Paul Sabatier.

LEFEBVRE, G., DAVRANCHE, A., WILLM, L., CAMPAGNA, J., REDMOND, L., MERLE, C., GUELMAMI, A. et POULIN, B., 2019. *Introducing WIW for Detecting the Presence of Water in Wetlands with Landsat and Sentinel Satellites*. Remote Sensing. Vol. 11, n° 19, 2210. DOI 10.3390/rs11192210.

MICHEL, P. et TENGOU, T., 2001. *Guide méthodologique de gestion des lagunes méditerranéennes. 4: Les aménagements*. S.l. : Région Languedoc Roussillon Montpellier.

LEPAREUR F., BERTRAND S., MORIN E., LE FLOC'H M., BARRE N., GARRIDO M., RIERA L., MAUCLERT V., 2018. *Etat de conservation des « lagunes côtières » d'intérêt communautaire (UE 1150*)*. Méthode d'évaluation à l'échelle du site Natura 2000 - Guide d'application (Version 2). S.l. : s.n.

OBSERVATOIRE DES ZONES HUMIDES MÉDITERRANÉENNES, 2012. *Les zones humides méditerranéennes : Enjeux et perspectives. Premier rapport technique de l'Observatoire des Zones Humides Méditerranéennes*. Arles : Tour du Valat. ISBN 978-2-910368-53-1.

OBSERVATOIRE DES ZONES HUMIDES MÉDITERRANÉENNES, 2018. *Les zones humides méditerranéennes - enjeux et perspectives 2*. Arles : Tour du Valat.

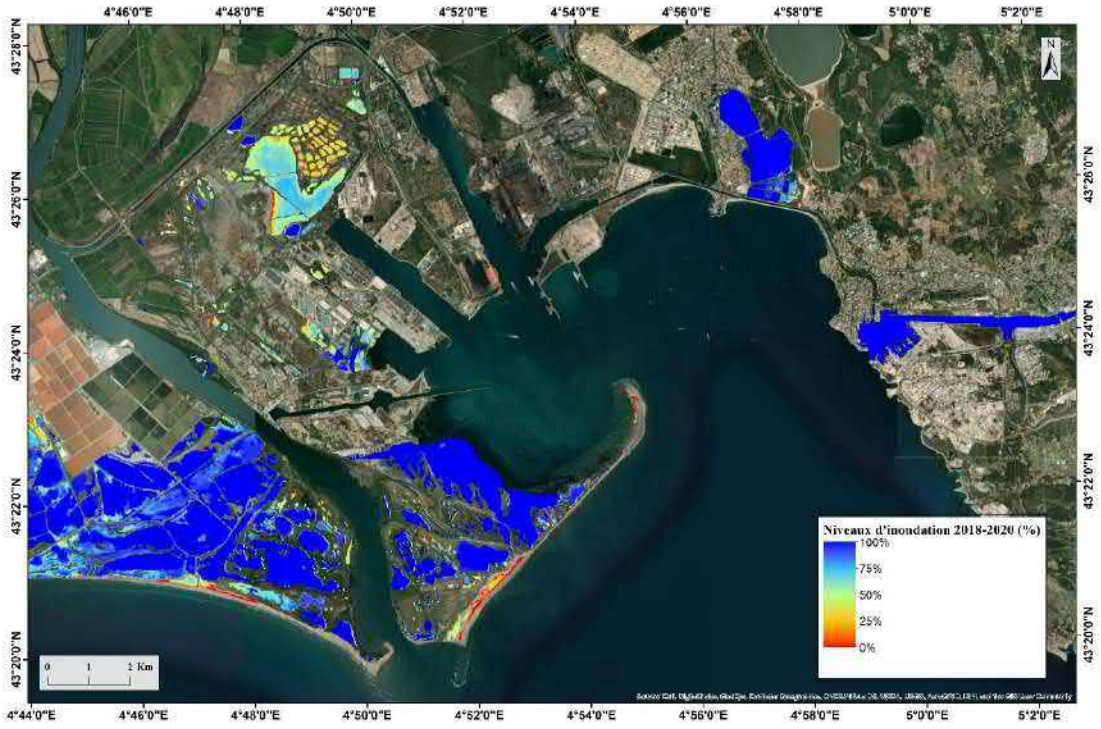
PERENNOU, C., GUELMAMI, A., PAGANINI, M., PHILIPSON, P., POULIN, B., STRAUCH, A., TOTTRUP, C., TRUCKENBRODT, J., GEIJZENDORFFER, I. R., BOHAN, D. A., DUMBRELL, A. J., WOODWARD, G. et JACKSON, M., 2018. *Mapping Mediterranean Wetlands With Remote Sensing: A Good-Looking Map Is Not Always a Good Map*. Advances in Ecological Research, n° 58(1), 243-277.

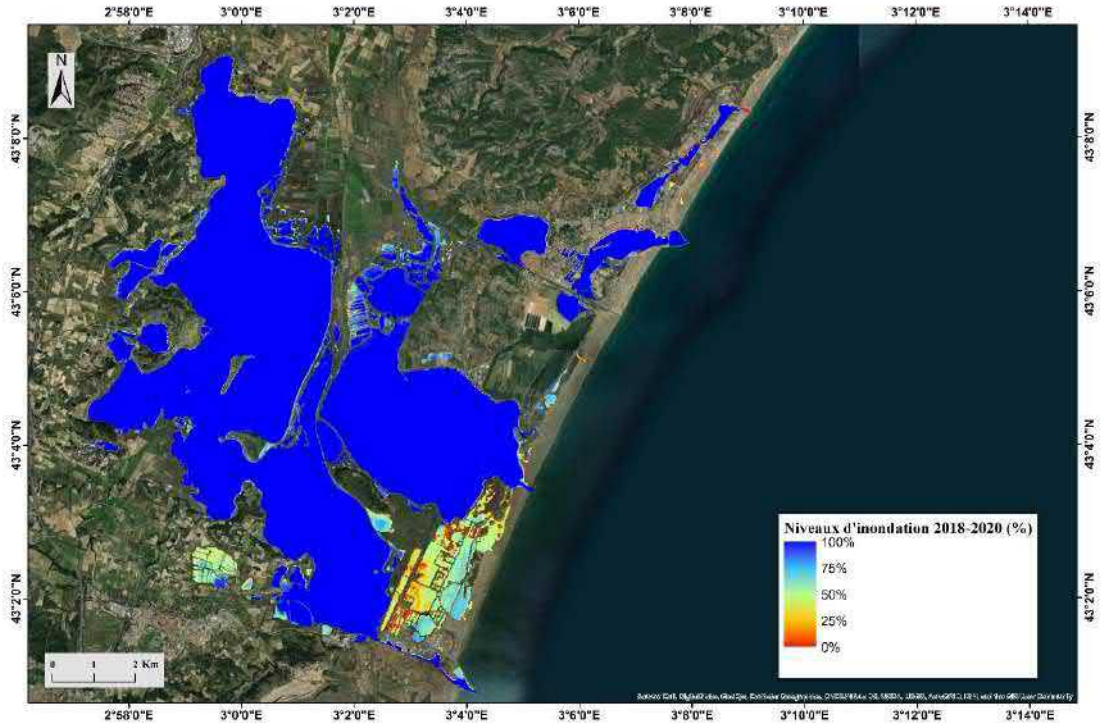
TOURNOUD, M.G., CHEVEREAU, G., SCERCI, F., MAZOYER, C.,TOURNOUD, M.G., 2001. *Guide méthodologique de gestion des lagunes méditerranéennes 1 : Les eaux*. S.l. : Région Languedoc Roussillon Montpellier.

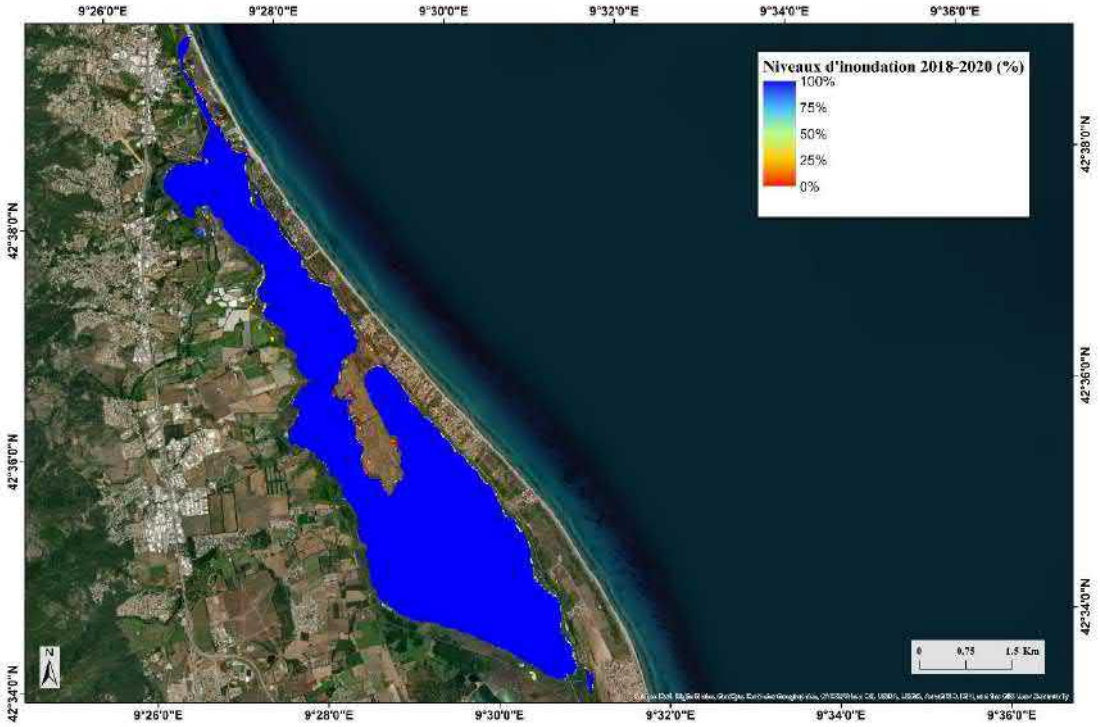
ZAHRA, Z., SBAA, M., ABDELHAFID, C. et AQIL, H. 2013. *Contribution à l'étude de la qualité des eaux de la lagune de Nador : Impact de l'anthropisation*. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, Section Sciences de la Vie, 51-59.

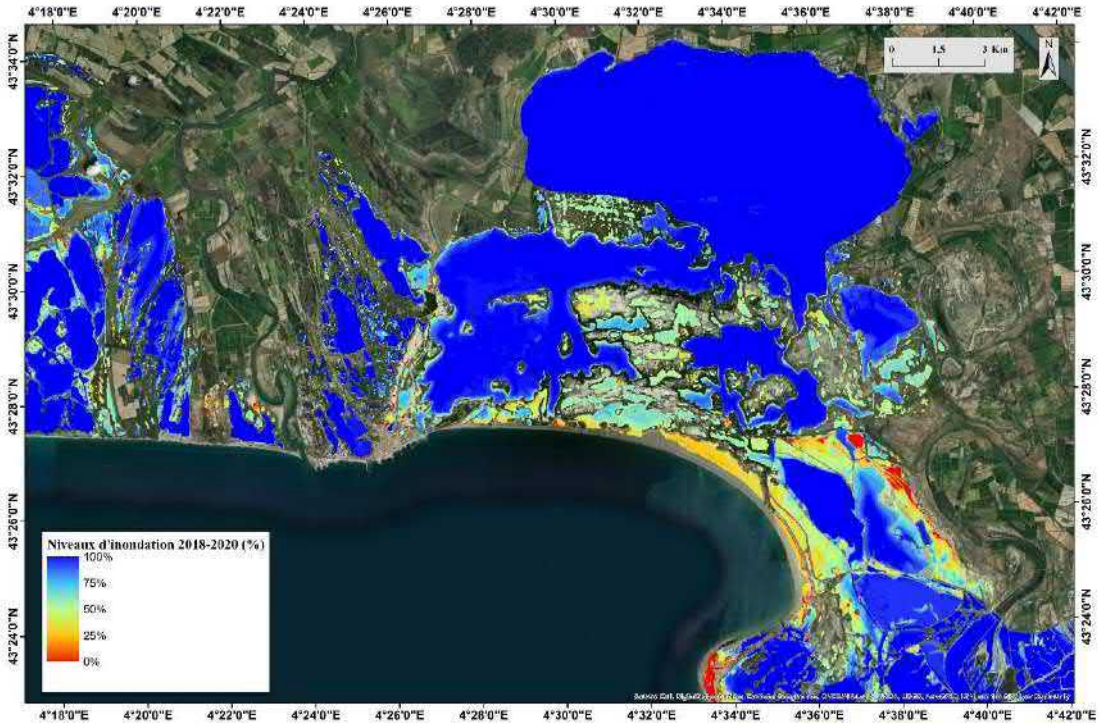
Annexes

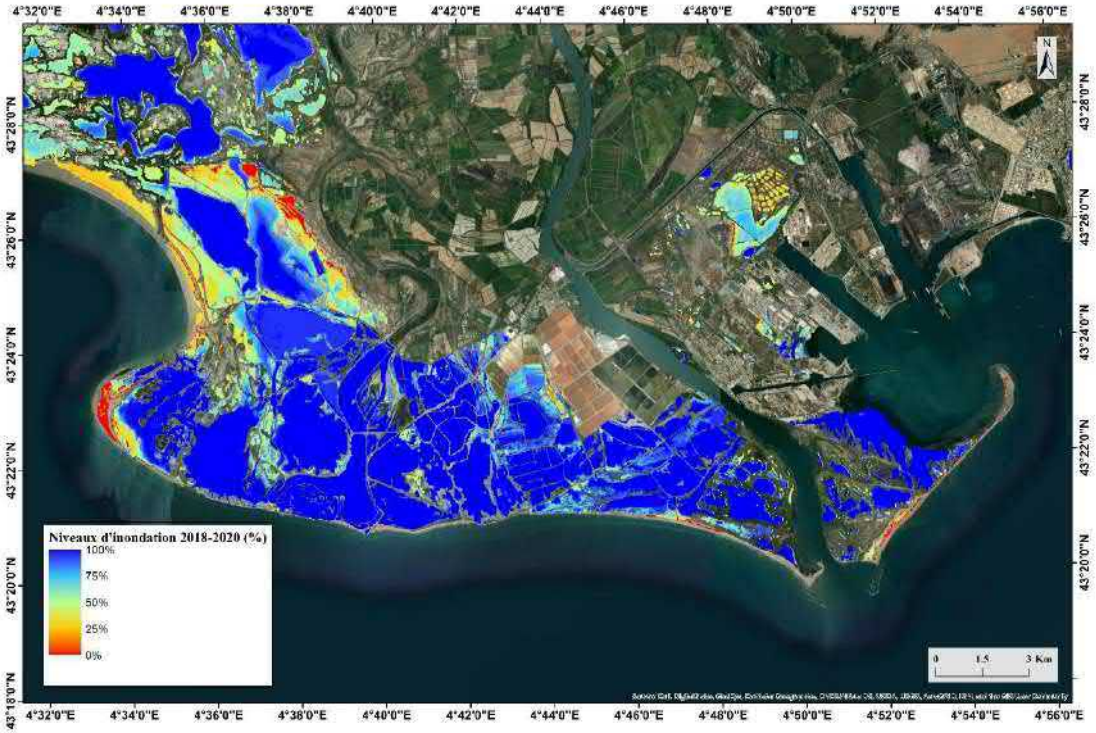
Annexe 1 : Cartes des niveaux d'inondation (pixel par pixel)

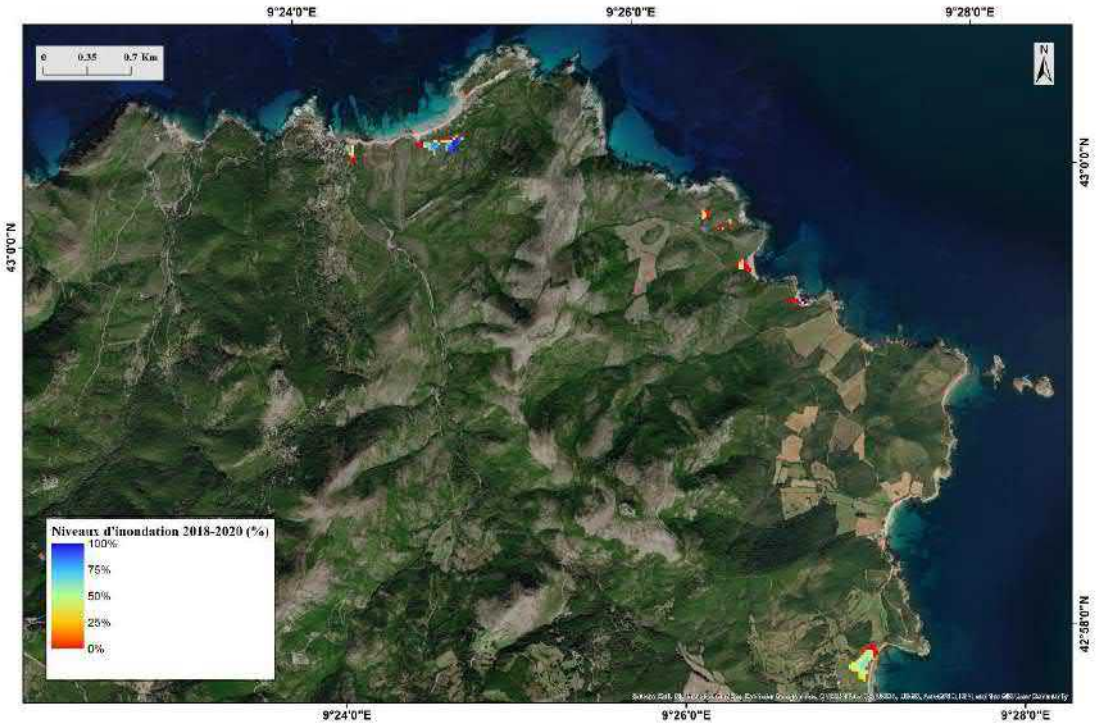


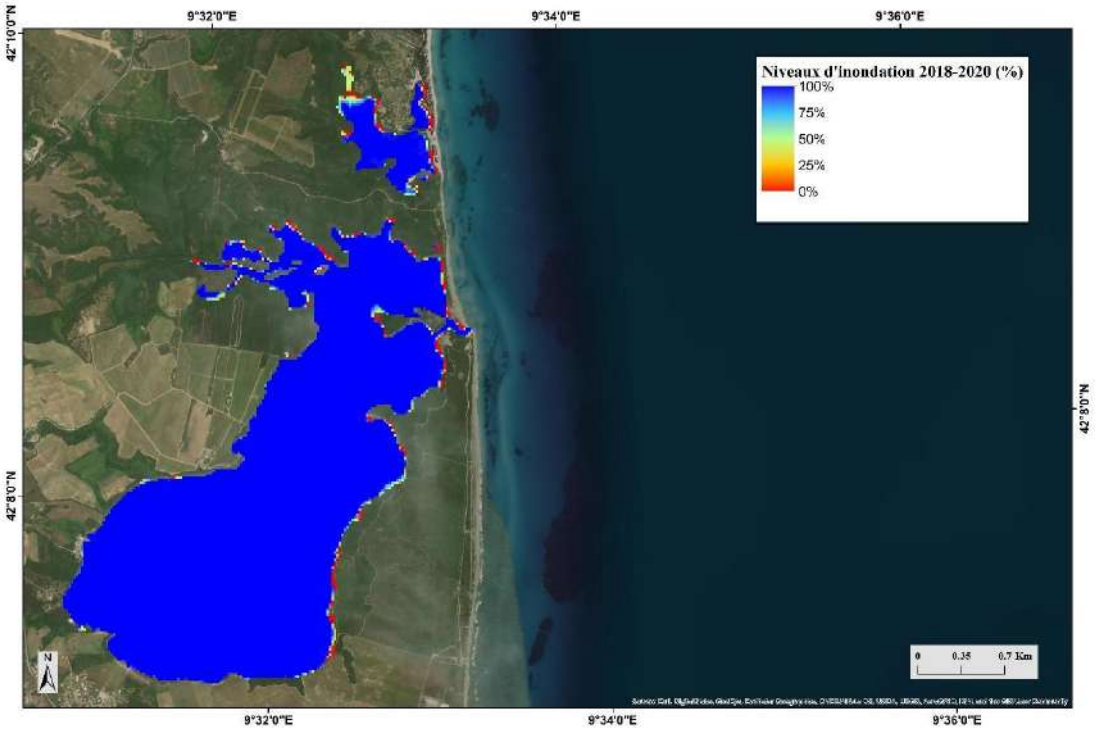


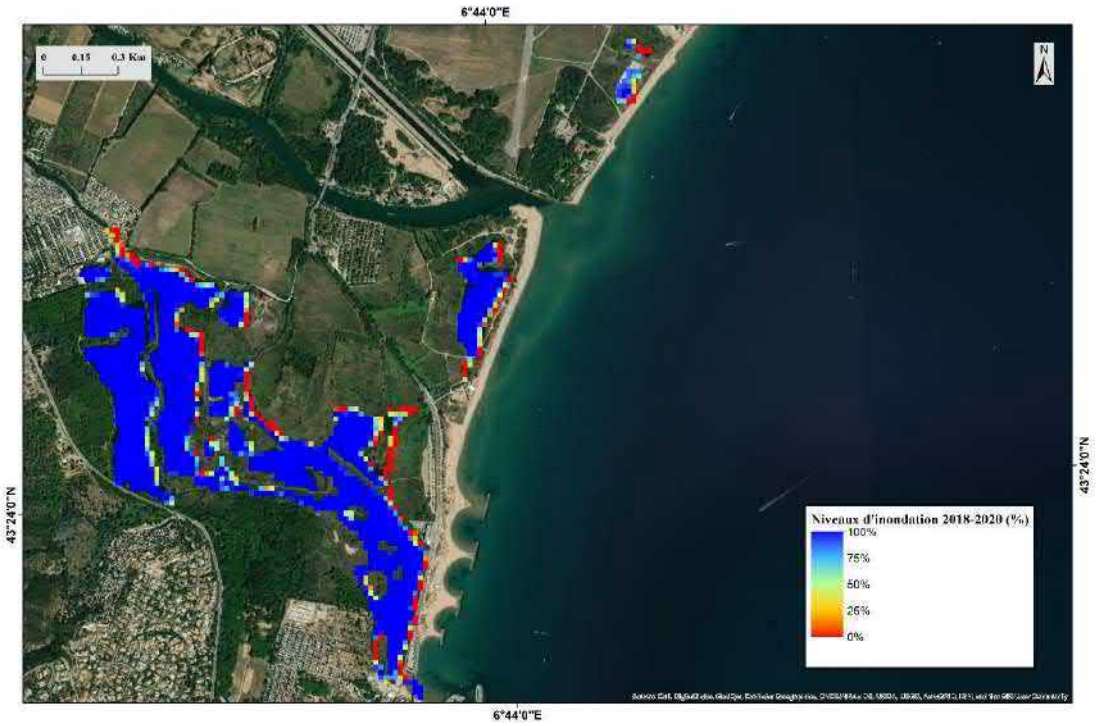

Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
9°26'0"E
9°28'0"E
9°30'0"E
9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°38'0"N
42°36'0"N
42°34'0"N
0 0,75 1,5 Km
N

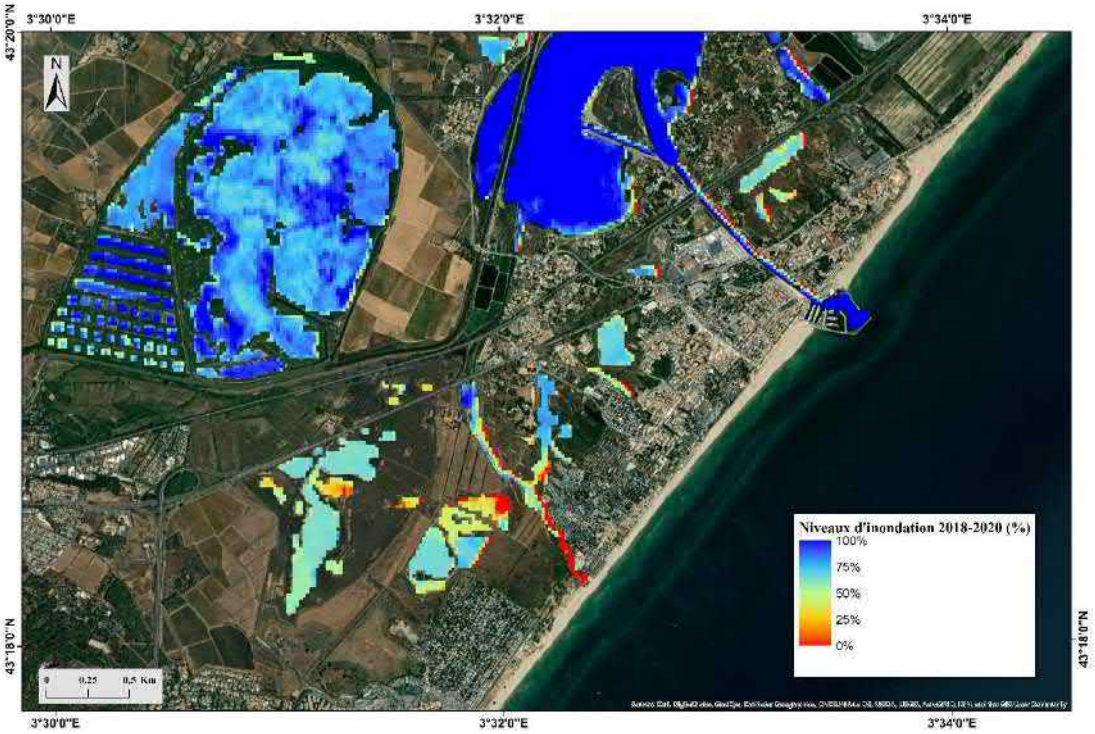

Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
4°18'0"E
4°20'0"E
4°22'0"E
4°24'0"E
4°26'0"E
4°28'0"E
4°30'0"E
4°32'0"E
4°34'0"E
4°36'0"E
4°38'0"E
4°40'0"E
4°42'0"E
43°34'0"N
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
0 1,5 3 Km
N

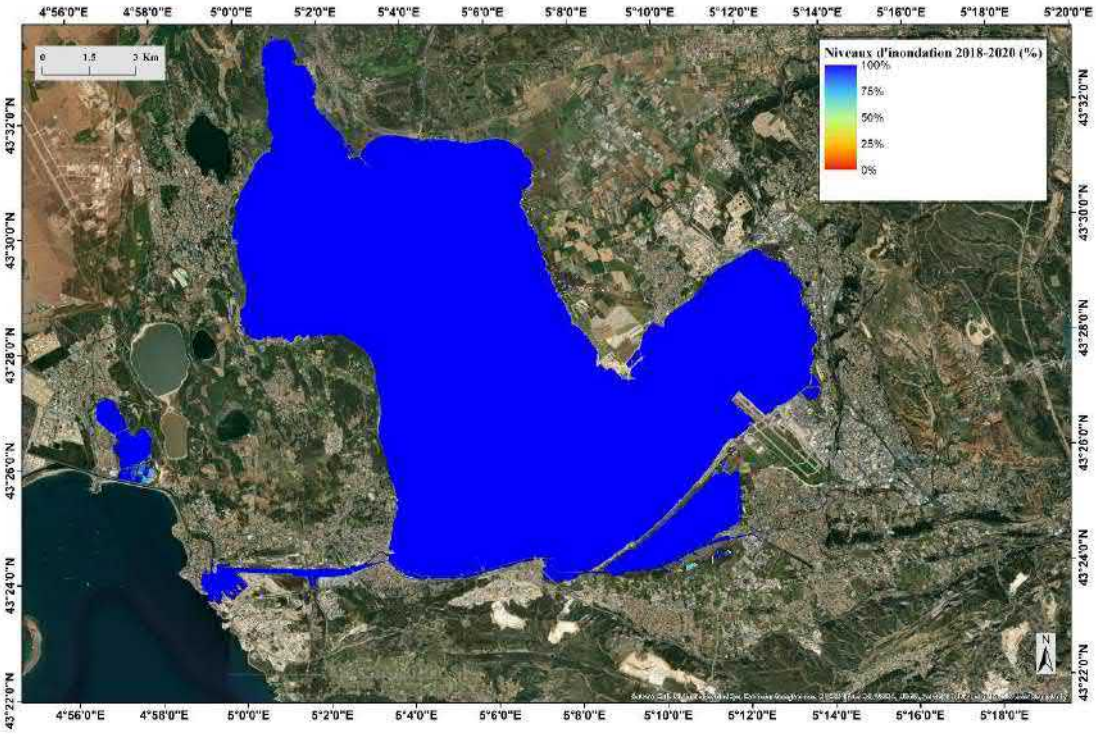

4°32'0"E
4°34'0"E
4°36'0"E
4°38'0"E
4°40'0"E
4°42'0"E
4°44'0"E
4°46'0"E
4°48'0"E
4°50'0"E
4°52'0"E
4°54'0"E
4°56'0"E
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
43°20'0"N
43°18'0"N
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0
1.5
3 Km

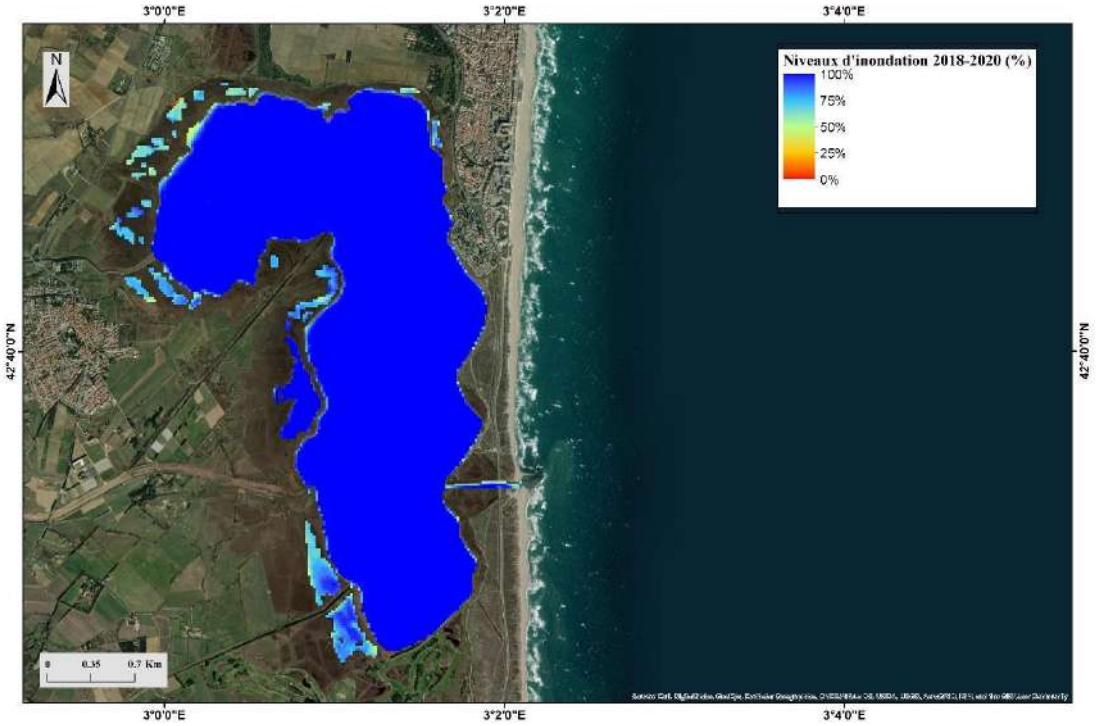

9°24'0"E
9°26'0"E
9°28'0"E
43°0'0"N
42°58'0"N
N
0
0.35
0.7 Km
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%

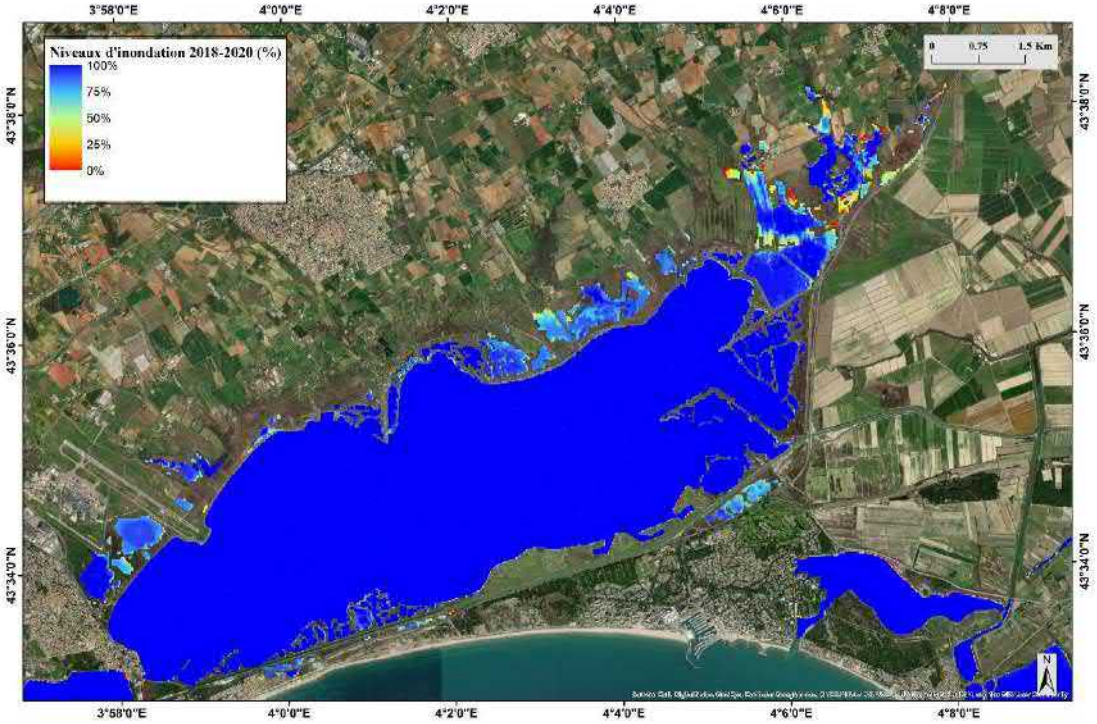

9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°10'0"N
42°8'0"N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
N
0 0.35 0.7 Km

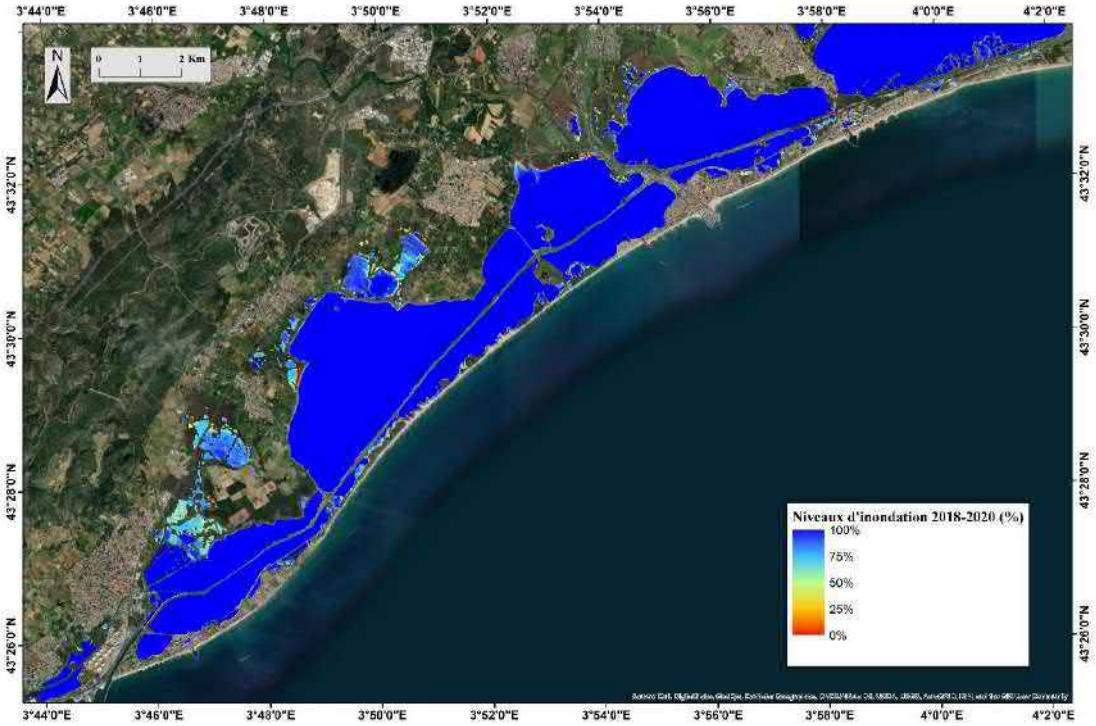

6°44'0"E
43°24'0"N
0 0.15 0.3 Km
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%

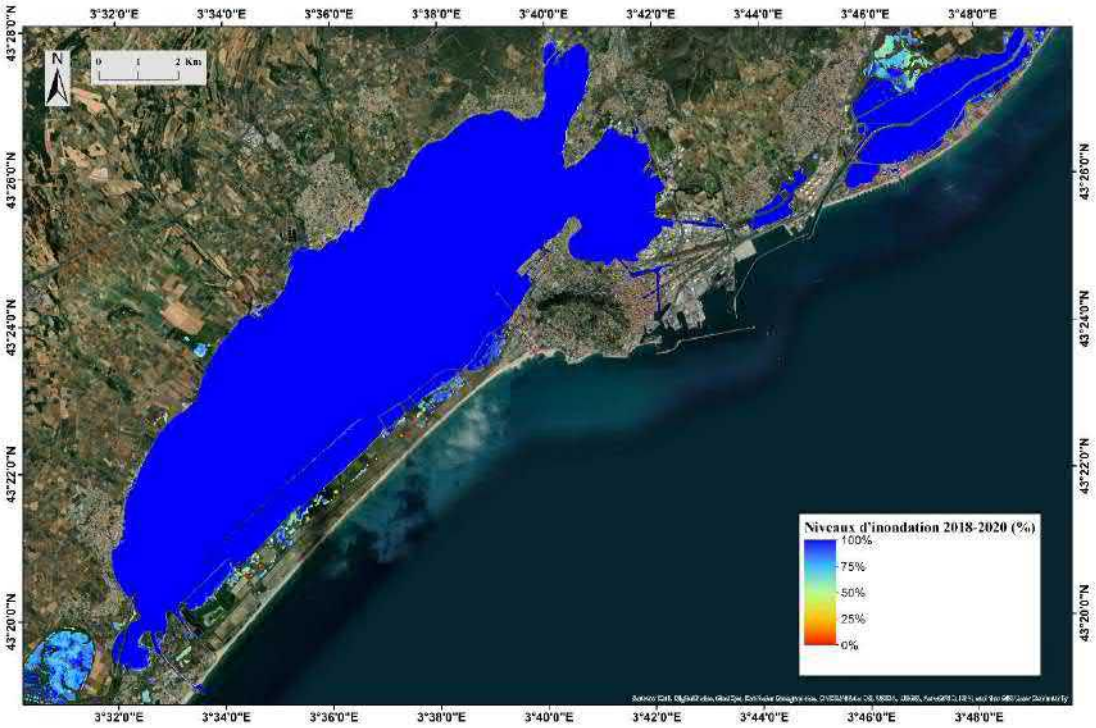

3°30'0"E
3°32'0"E
3°34'0"E
43°20'0"N
43°18'0"N
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0 0,25 0,5 Km


4°56'0"E
4°58'0"E
5°0'0"E
5°2'0"E
5°4'0"E
5°6'0"E
5°8'0"E
5°10'0"E
5°12'0"E
5°14'0"E
5°16'0"E
5°18'0"E
5°20'0"E
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
0 1,5 3 Km
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
N

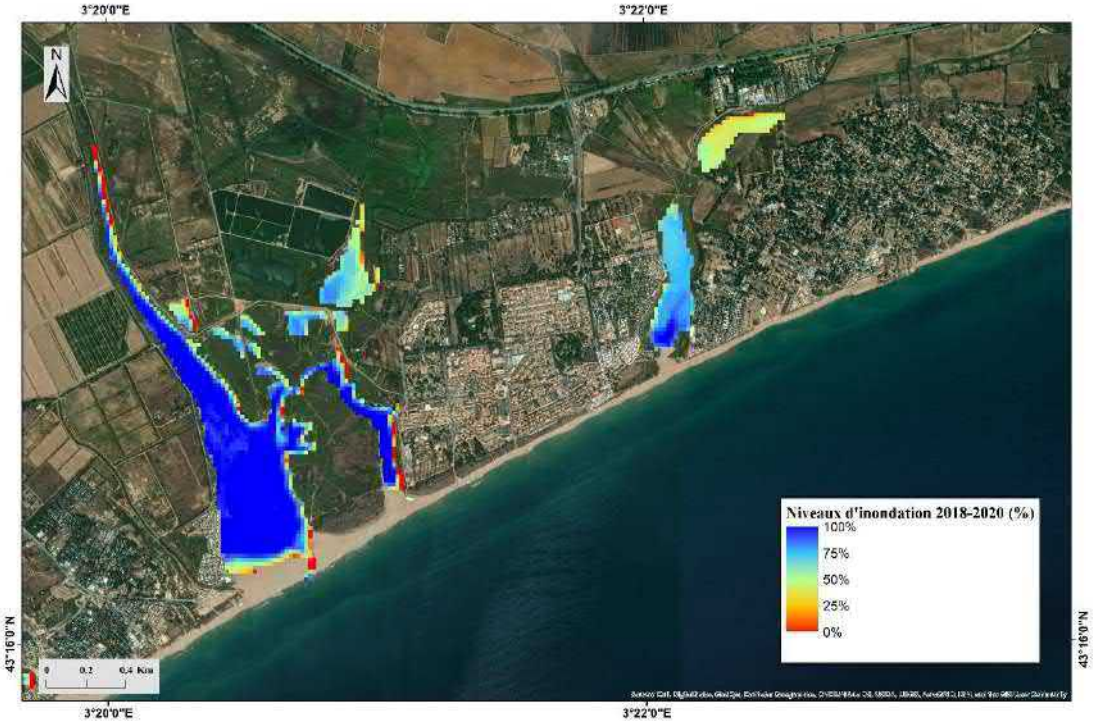

3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
42°40'0"N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
N
0 0.35 0.7 Km

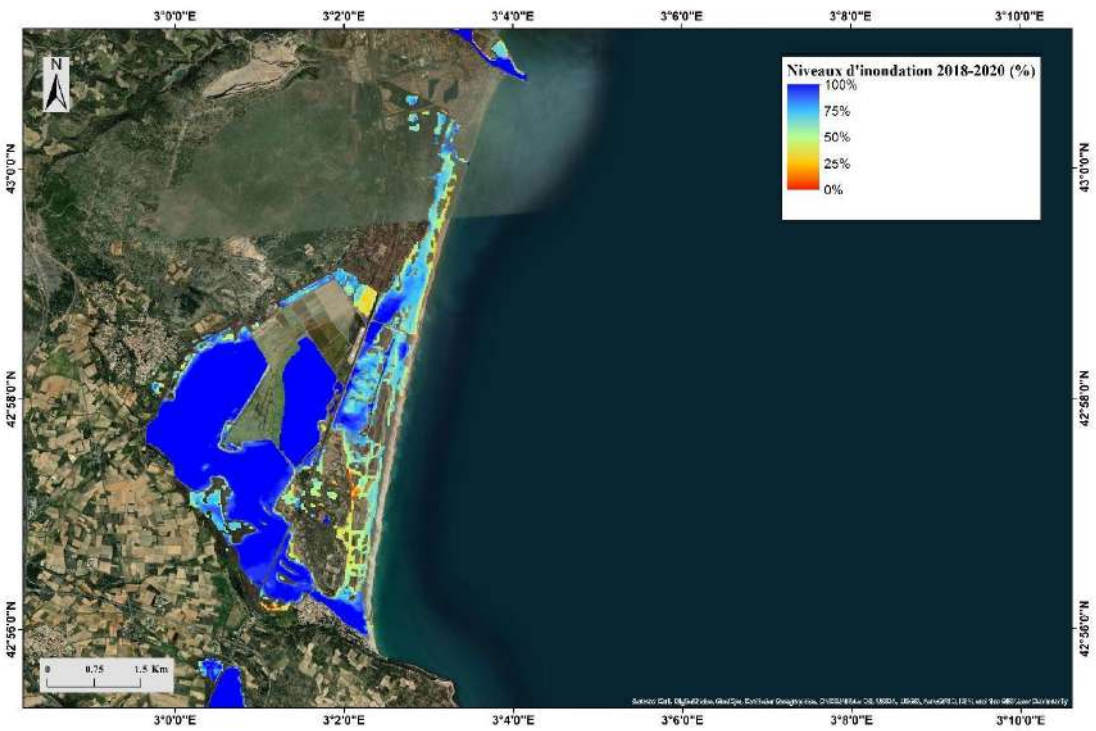

3°58'0"E
4°0'0"E
4°2'0"E
4°4'0"E
4°6'0"E
4°8'0"E
43°38'0"N
43°36'0"N
43°34'0"N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0 0.75 1.5 Km
N

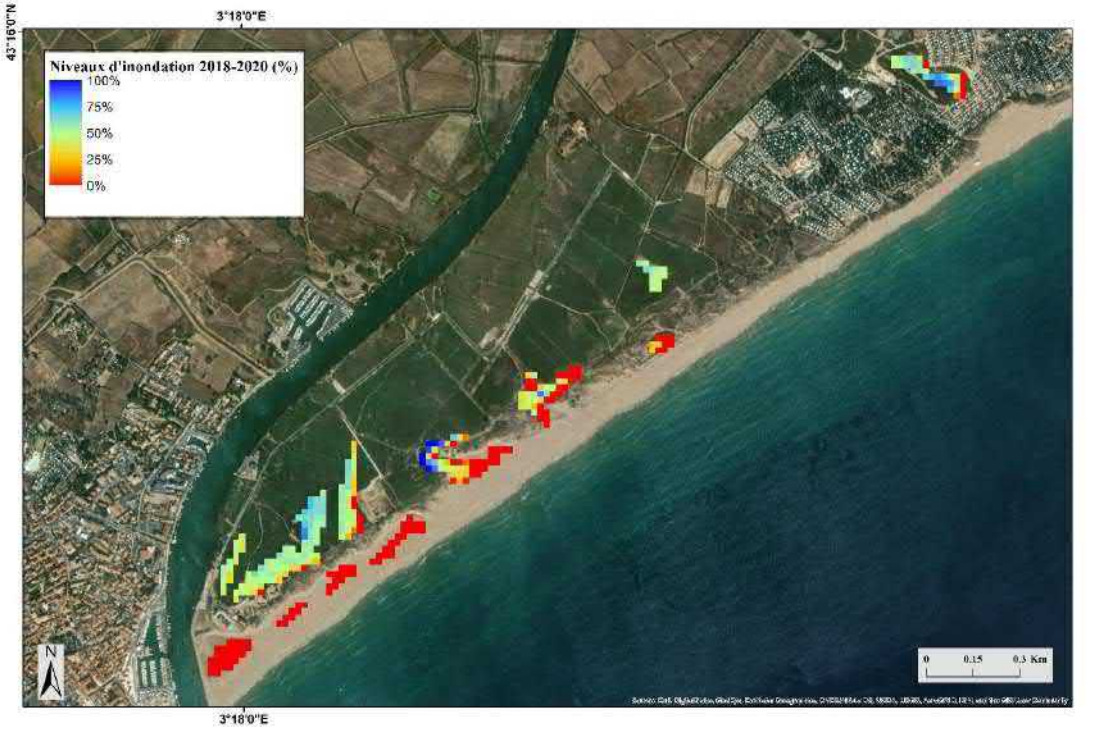

3°44'0"E
3°46'0"E
3°48'0"E
3°50'0"E
3°52'0"E
3°54'0"E
3°56'0"E
3°58'0"E
4°0'0"E
4°2'0"E
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
N
0 1 2 Km
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%

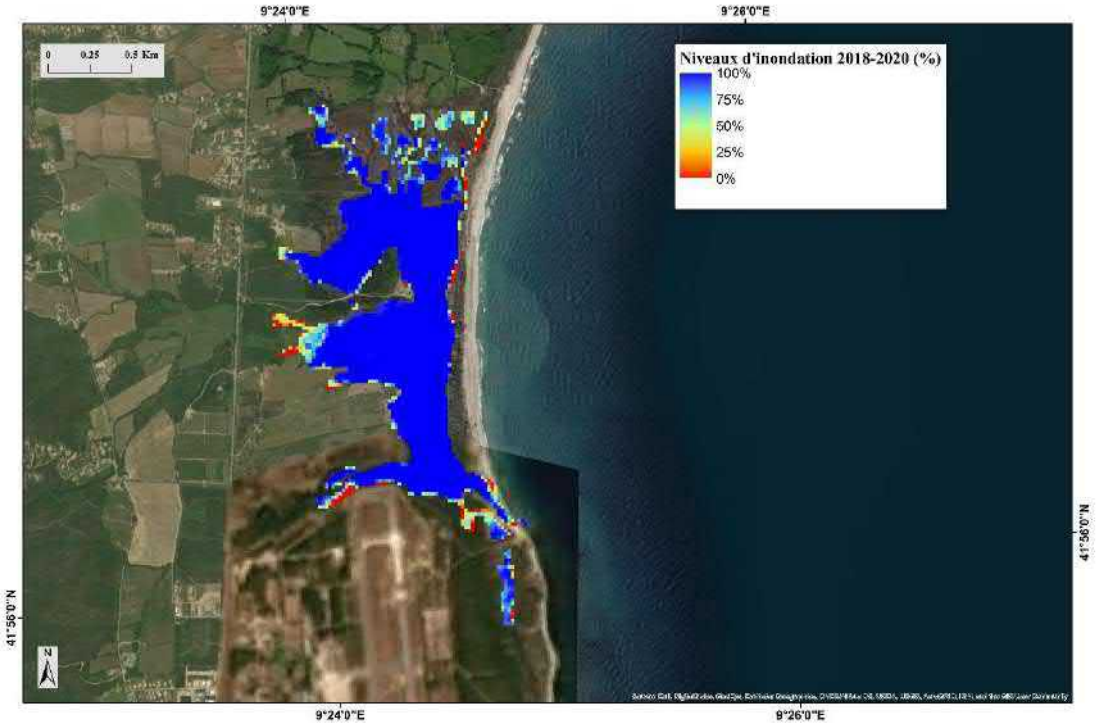

3°32'0"E
3°34'0"E
3°36'0"E
3°38'0"E
3°40'0"E
3°42'0"E
3°44'0"E
3°46'0"E
3°48'0"E
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
43°20'0"N
N
0 1 2 Km
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%

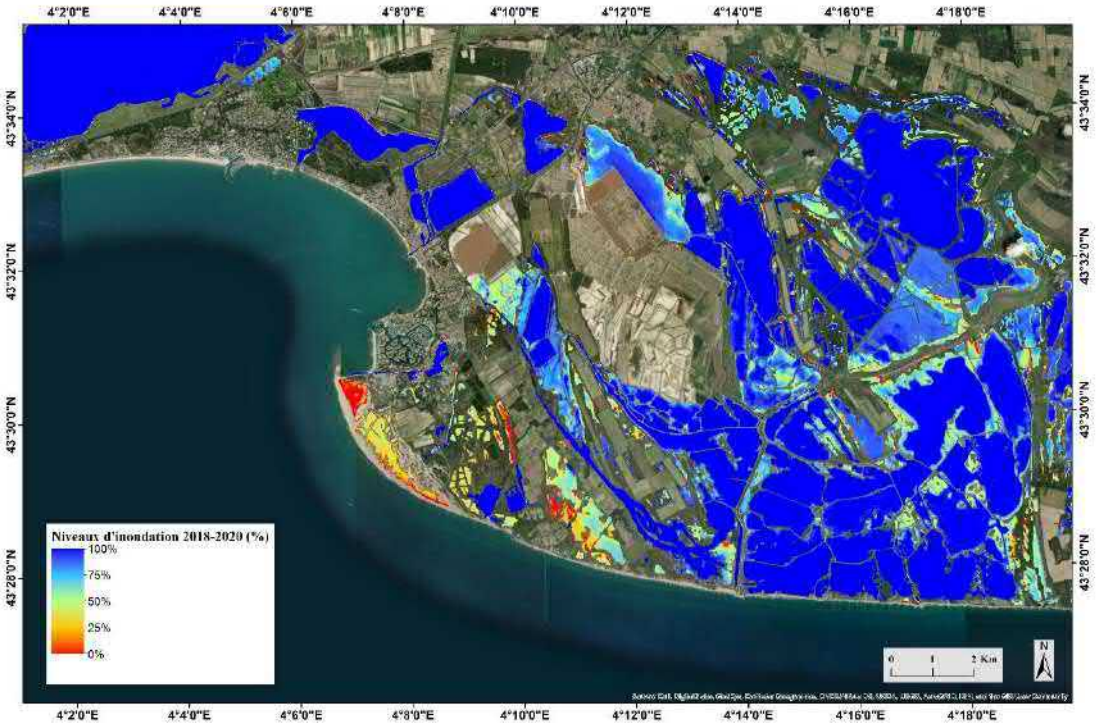

N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0
0.095
0.19 Km
43°10'0"N
43°10'0"N

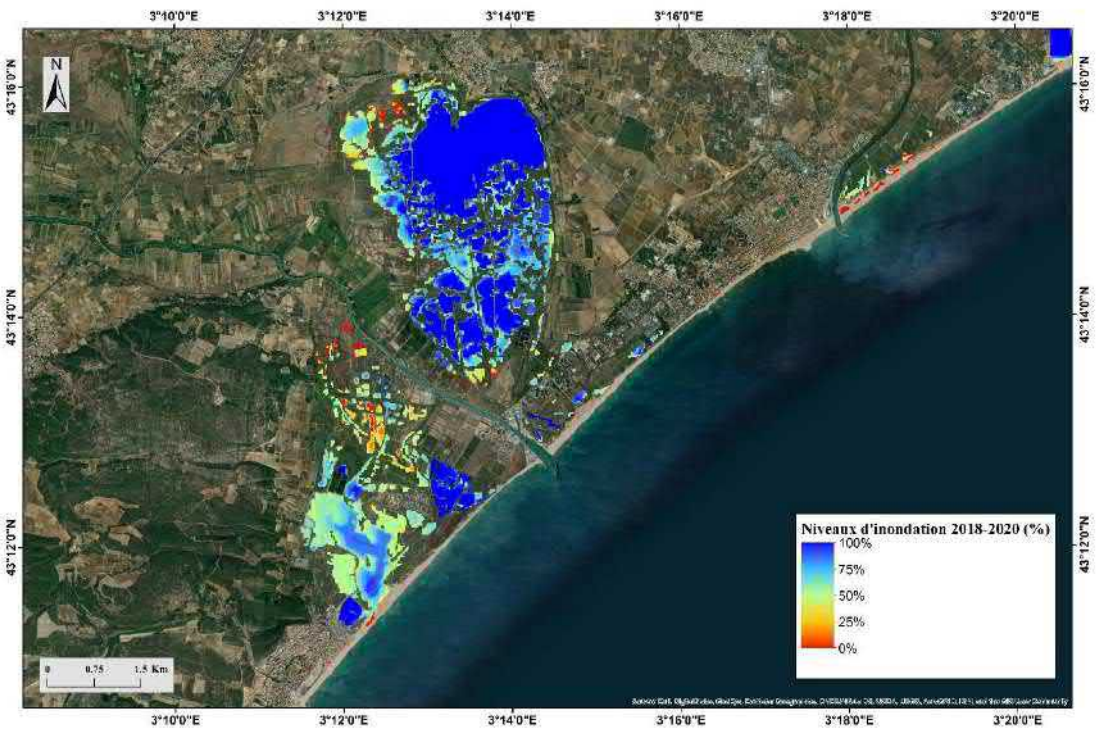

3°20'0"E
3°22'0"E
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0
0.2
0.4 Km
43°16'0"N
43°16'0"N
3°20'0"E
3°22'0"E

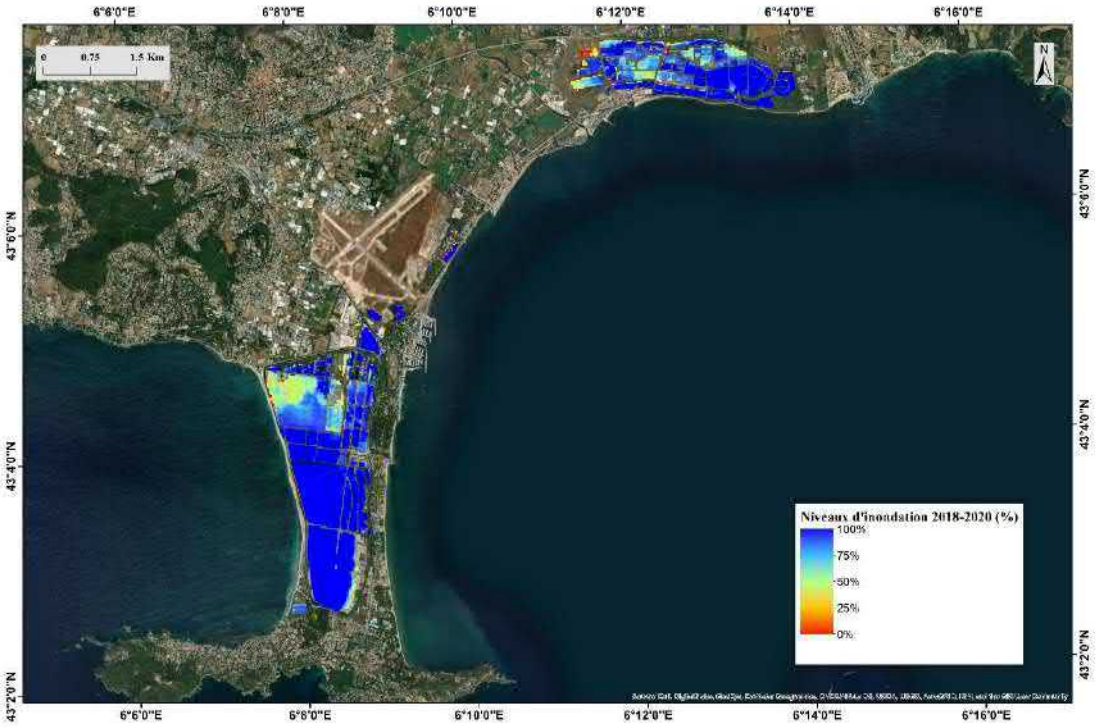

3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
3°6'0"E
3°8'0"E
3°10'0"E
43°0'0"N
42°58'0"N
42°56'0"N
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0 0.75 1.5 Km

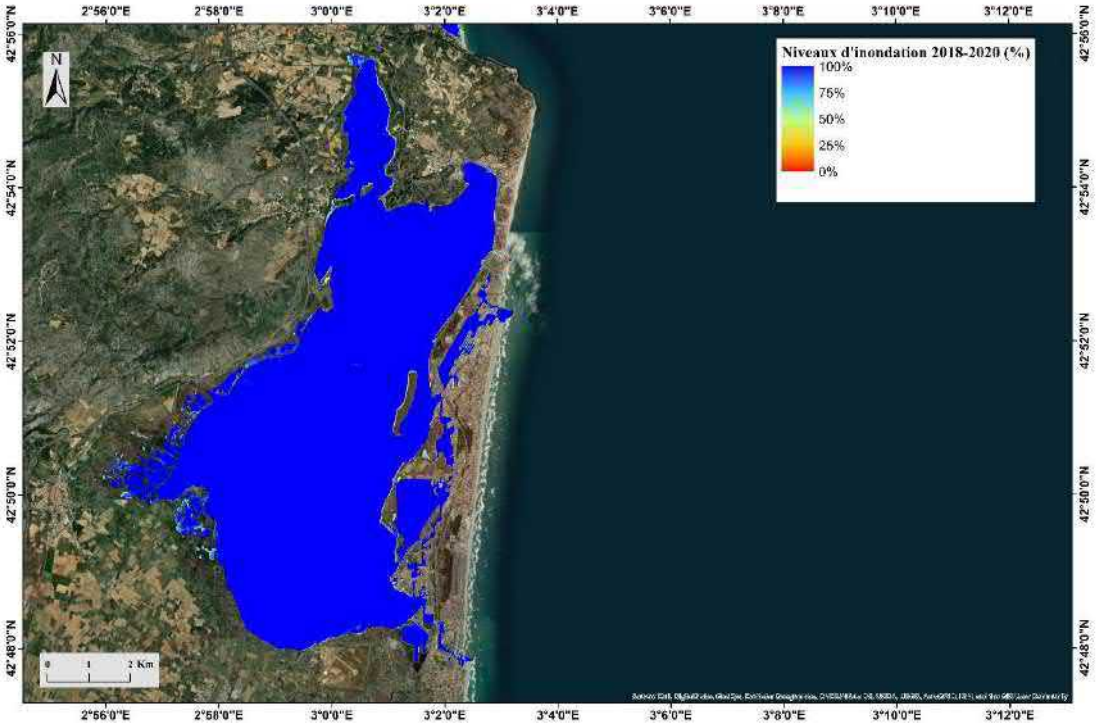

3°18'0"E
43°16'0"N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
N
0 0.15 0.3 Km

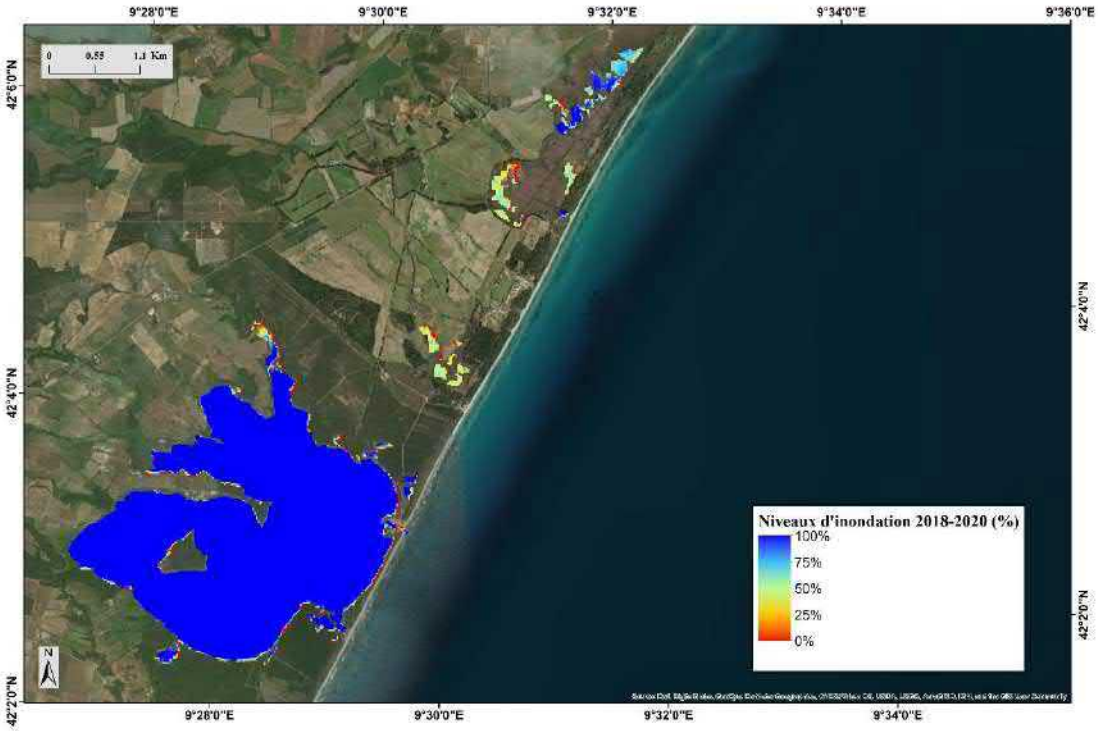

9°24'0"E
9°26'0"E
0 0.25 0.5 Km
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
41°56'0"N
N


4°2'0"E
4°4'0"E
4°6'0"E
4°8'0"E
4°10'0"E
4°12'0"E
4°14'0"E
4°16'0"E
4°18'0"E
43°34'0"N
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0 1 2 Km
N

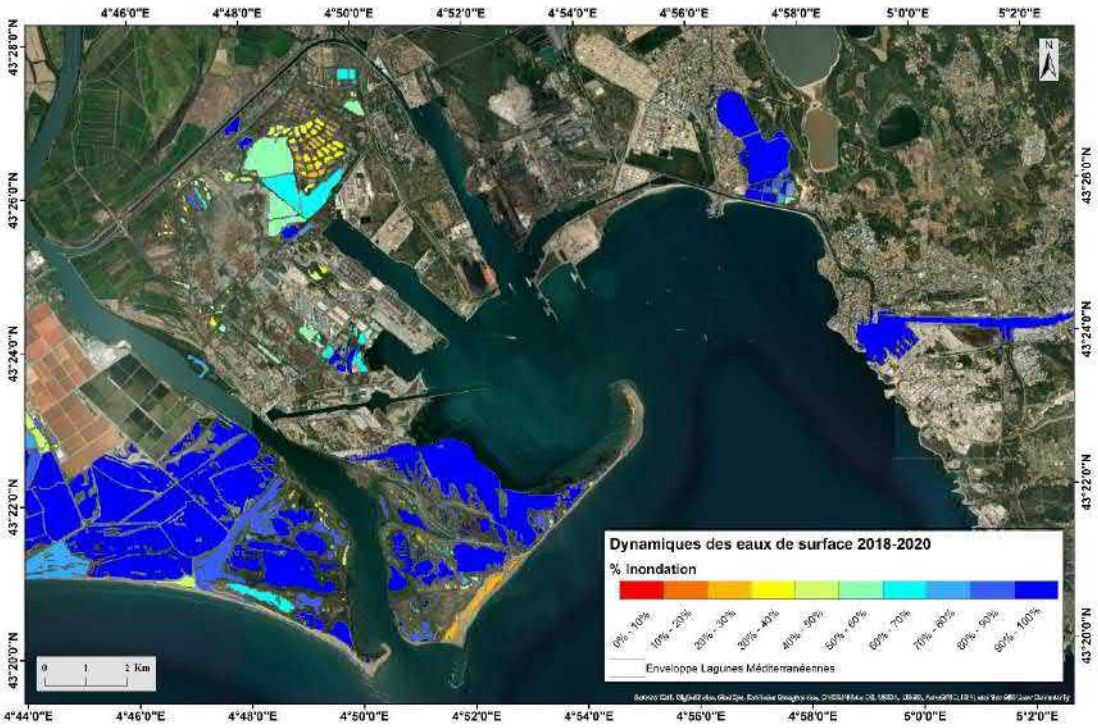

3°10'0"E
3°12'0"E
3°14'0"E
3°16'0"E
3°18'0"E
3°20'0"E
43°16'0"N
43°14'0"N
43°12'0"N
N
0 0.75 1.5 Km
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%

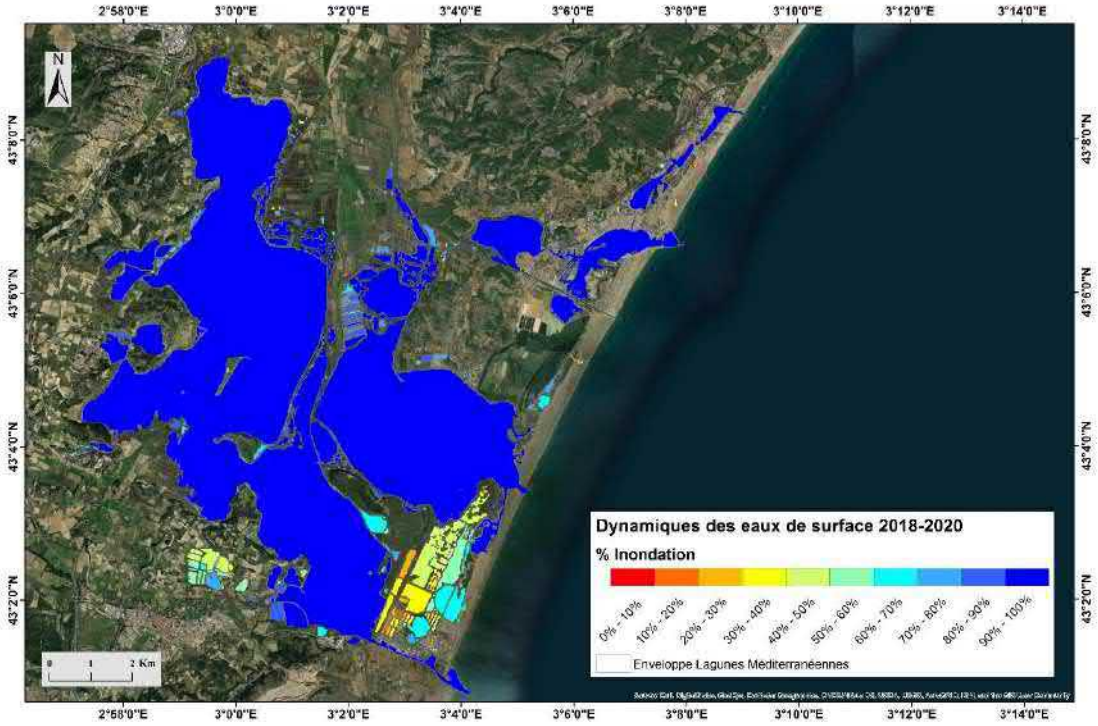

6°6'0"E
6°8'0"E
6°10'0"E
6°12'0"E
6°14'0"E
6°16'0"E
43°6'0"N
43°4'0"N
43°2'0"N
0 0.75 1.5 Km
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%

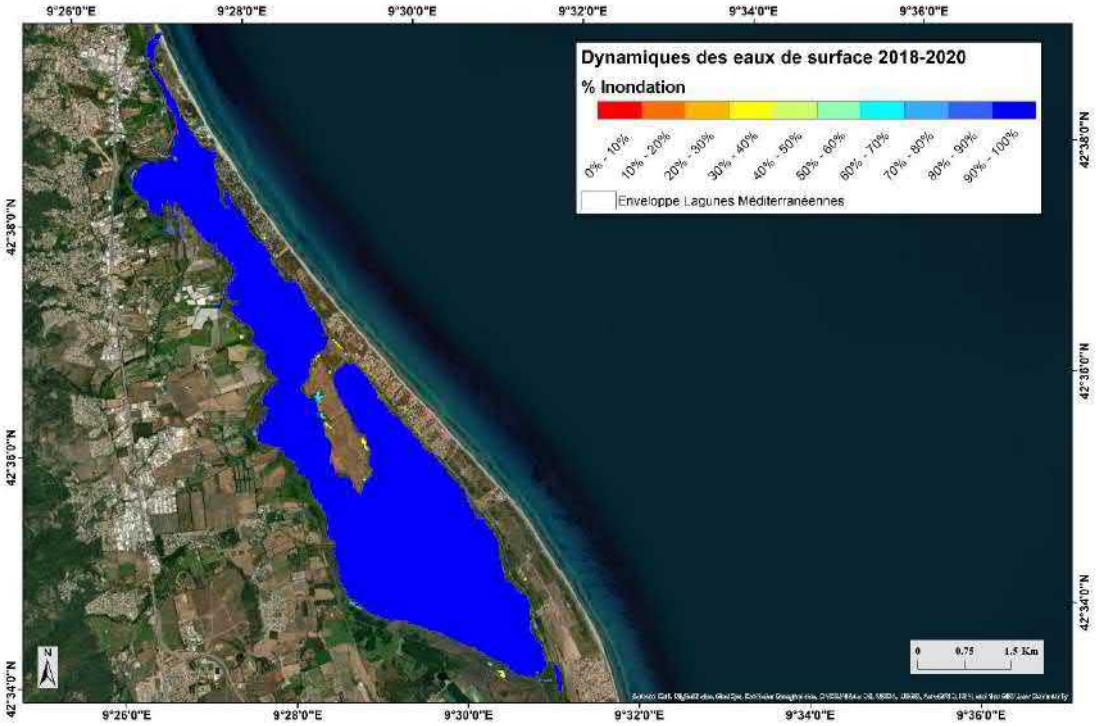

2°56'0"E
2°58'0"E
3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
3°6'0"E
3°8'0"E
3°10'0"E
3°12'0"E
42°56'0"N
42°54'0"N
42°52'0"N
42°50'0"N
42°48'0"N
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%
0
1
2 Km

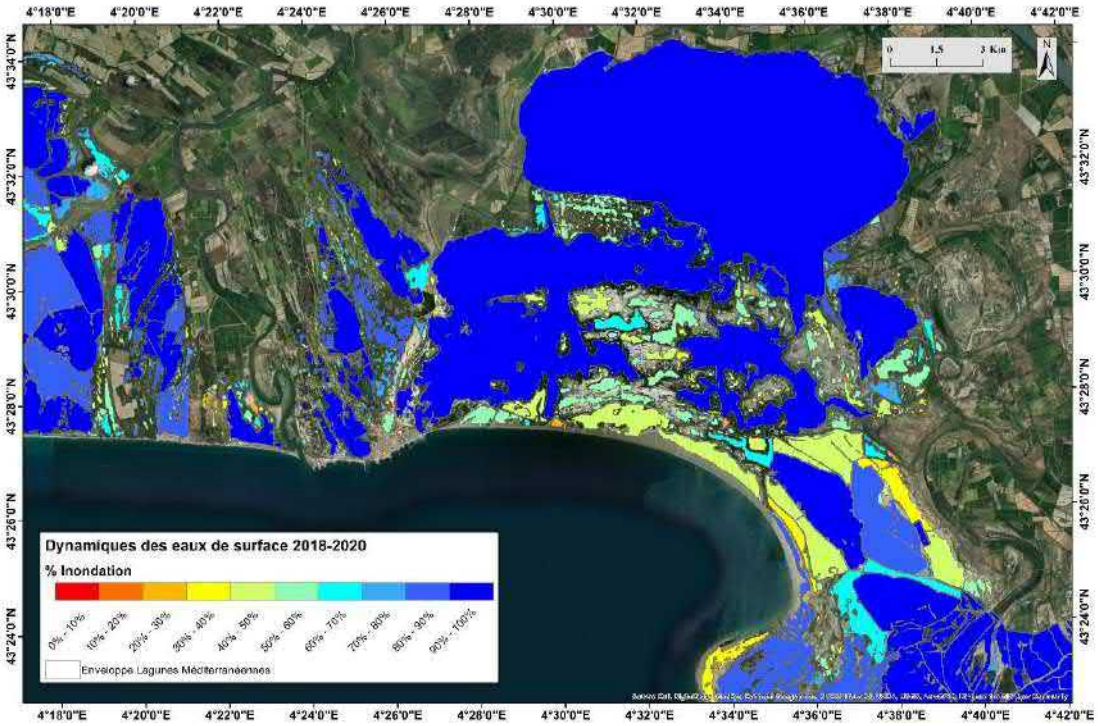

9°28'0"E
9°30'0"E
9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°6'0"N
42°4'0"N
42°2'0"N
0
0.55
1.1 Km
N
Niveaux d'inondation 2018-2020 (%)
100%
75%
50%
25%
0%

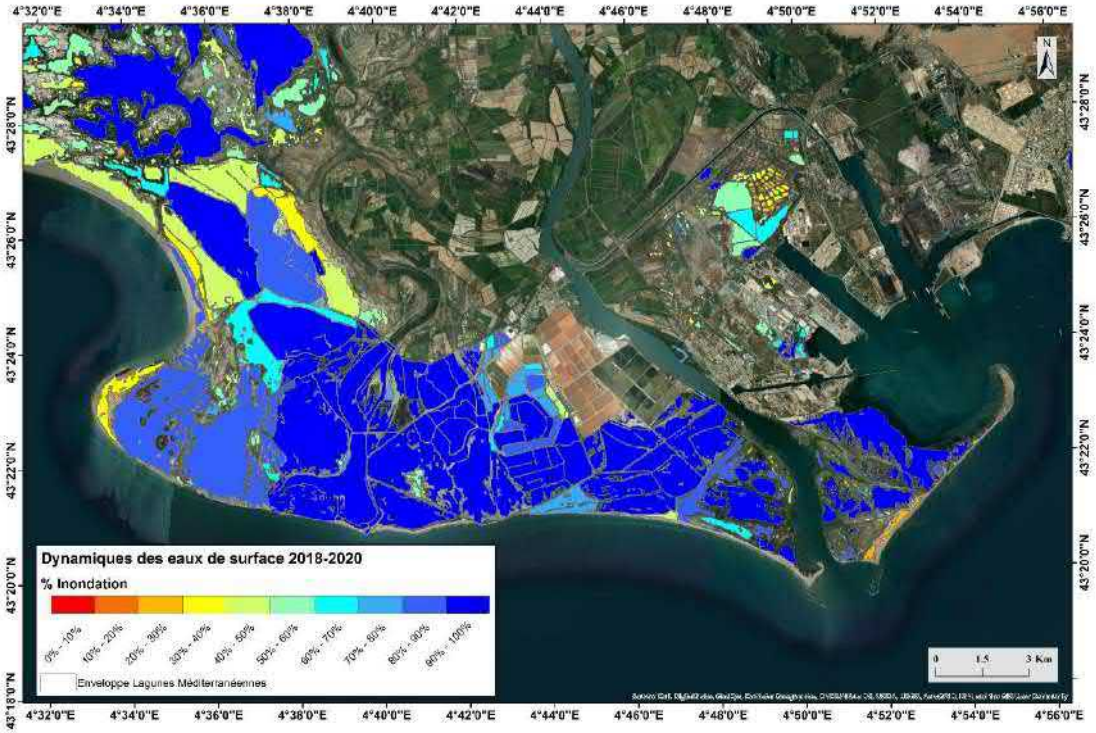
Annexe 2 : Cartes des niveaux d'inondation moyens pour les unités « lagunes »

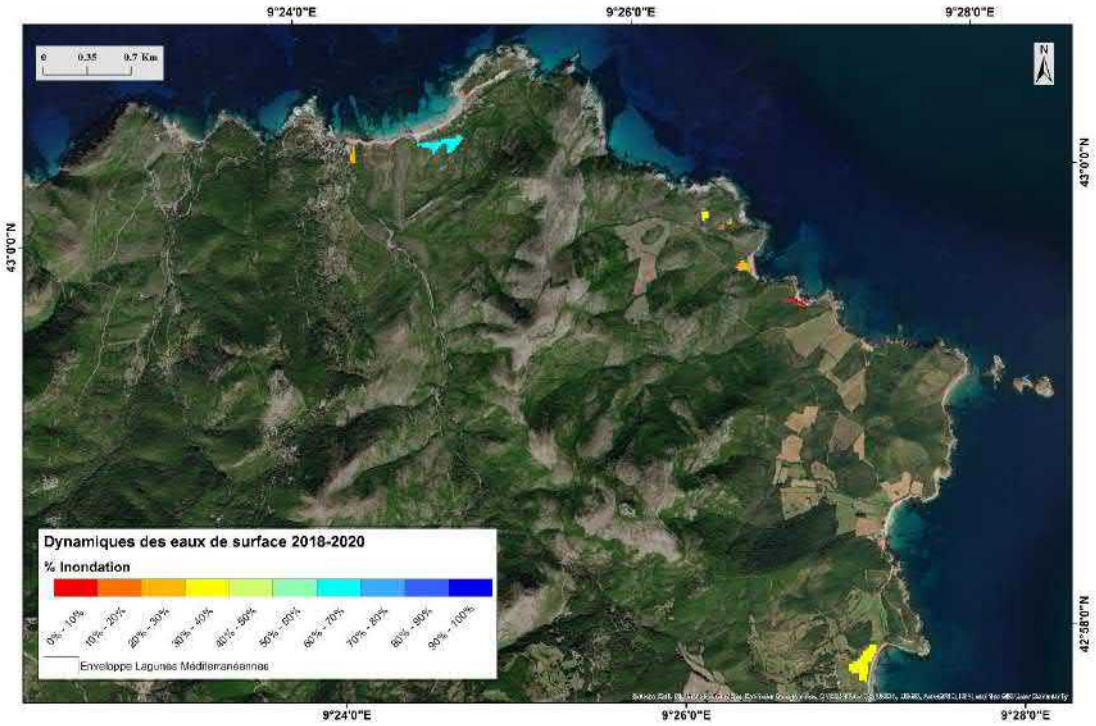


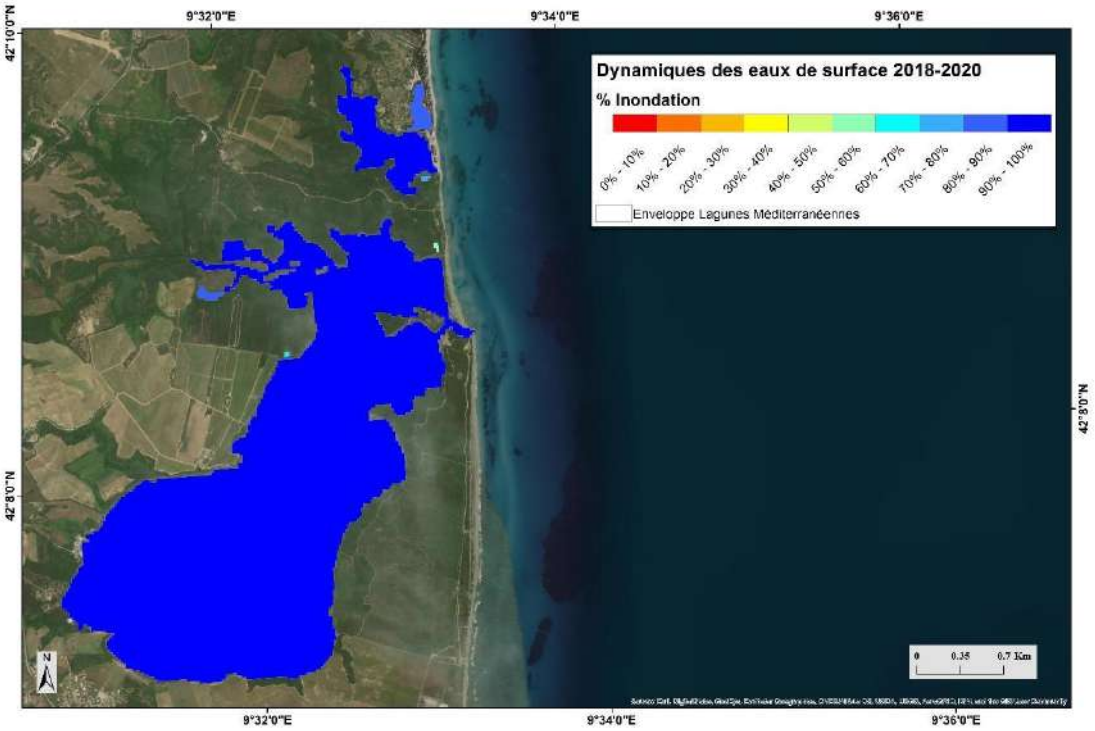


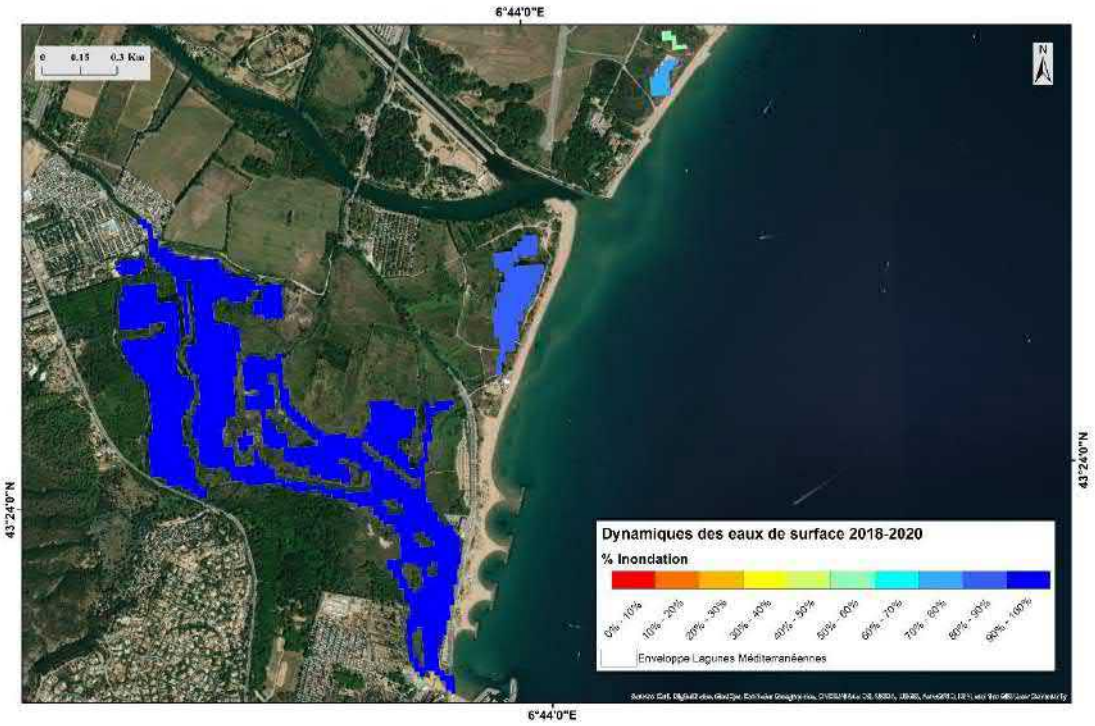

Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
9°26'0"E
9°28'0"E
9°30'0"E
9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°38'0"N
42°36'0"N
42°34'0"N
0 0,75 1,5 Km
N

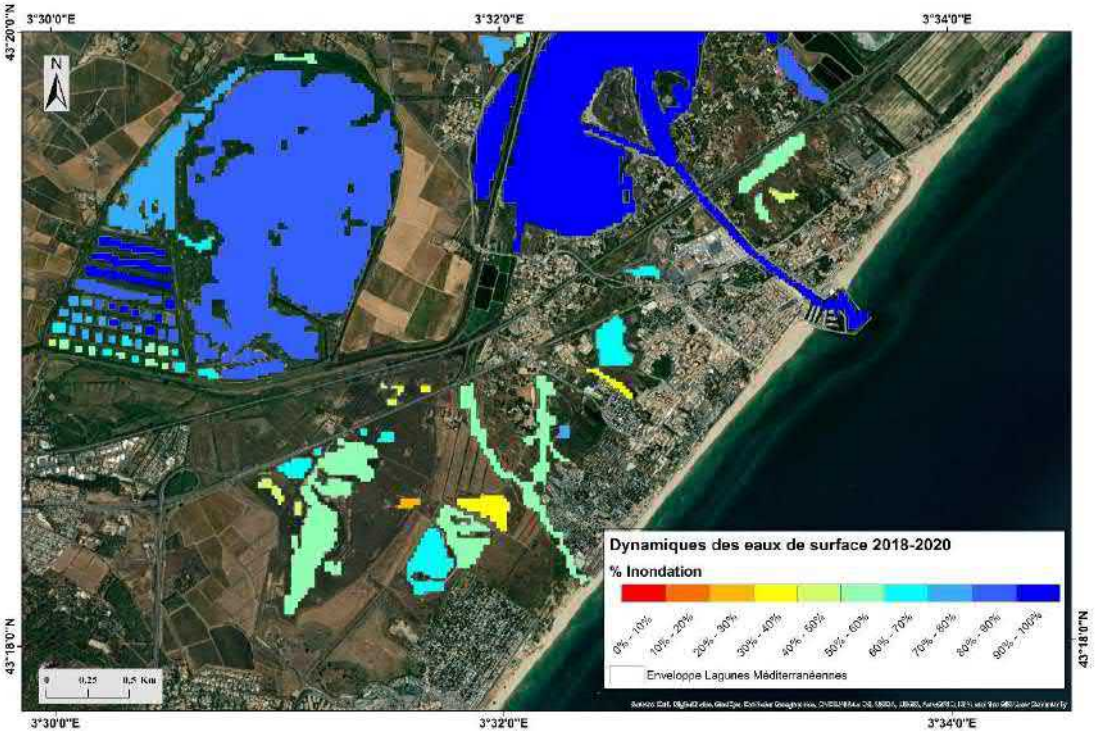

Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
4°18'0"E
4°20'0"E
4°22'0"E
4°24'0"E
4°26'0"E
4°28'0"E
4°30'0"E
4°32'0"E
4°34'0"E
4°36'0"E
4°38'0"E
4°40'0"E
4°42'0"E
43°34'0"N
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
0 1,5 3 Km
N

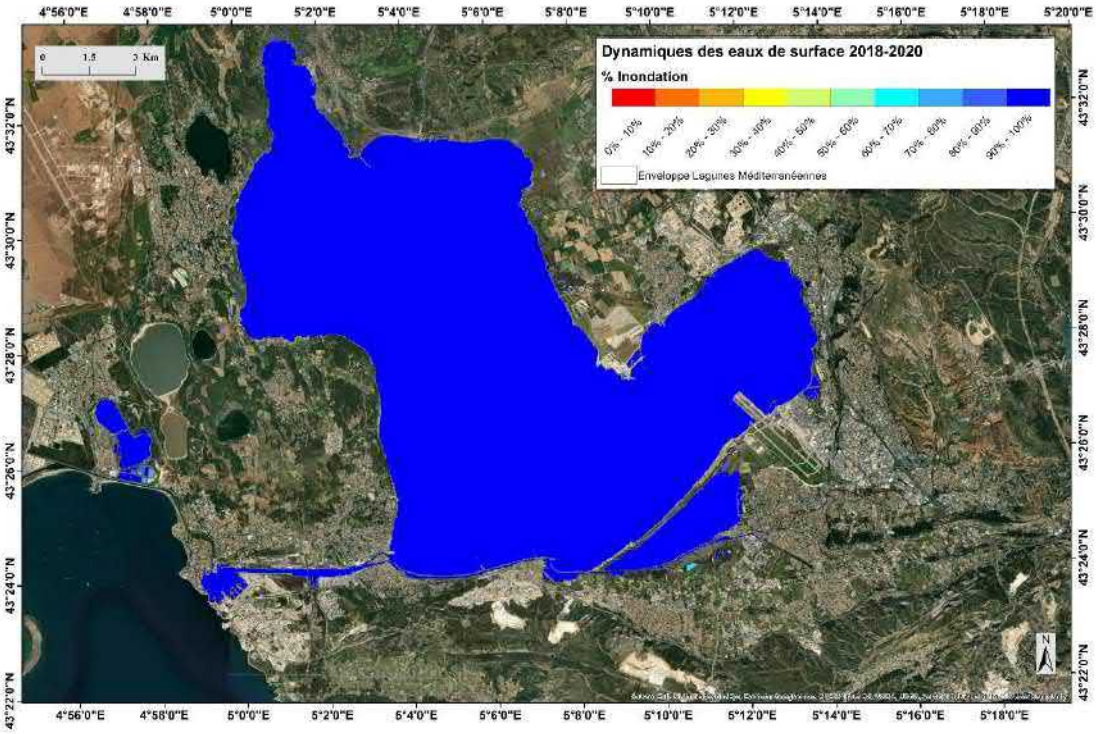

4°32'0"E
4°34'0"E
4°36'0"E
4°38'0"E
4°40'0"E
4°42'0"E
4°44'0"E
4°46'0"E
4°48'0"E
4°50'0"E
4°52'0"E
4°54'0"E
4°56'0"E
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
43°20'0"N
43°18'0"N
N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 1.5 3 Km

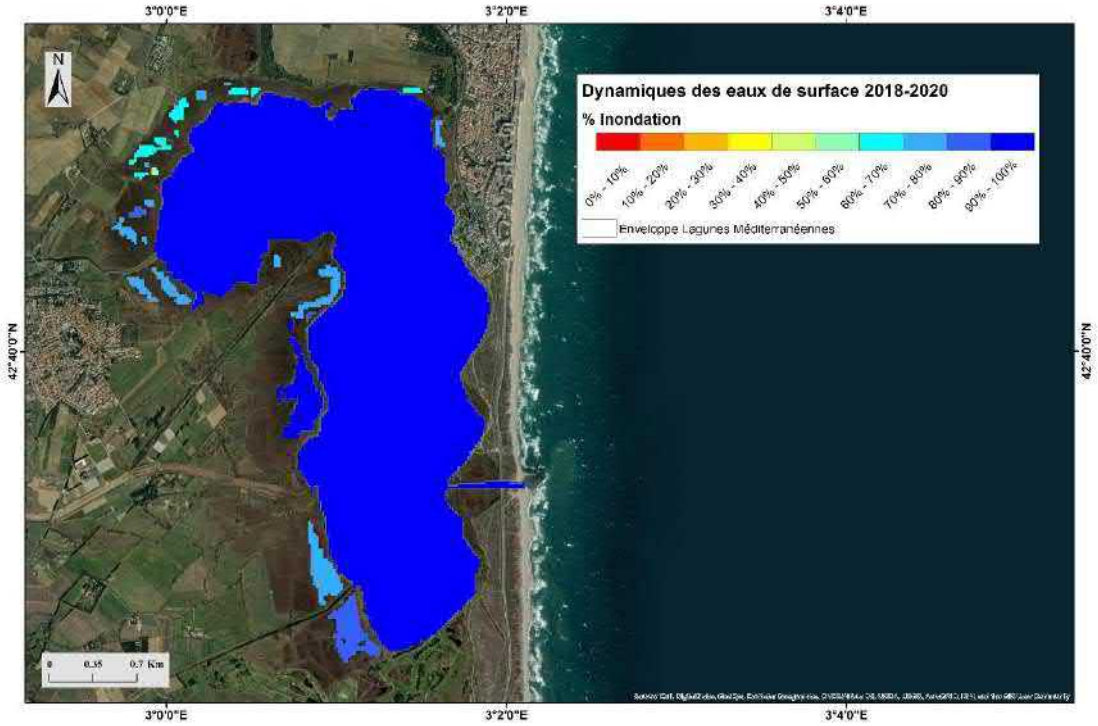

9°24'0"E
9°26'0"E
9°28'0"E
43°0'0"N
42°58'0"N
N
0 0.35 0.7 Km
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes

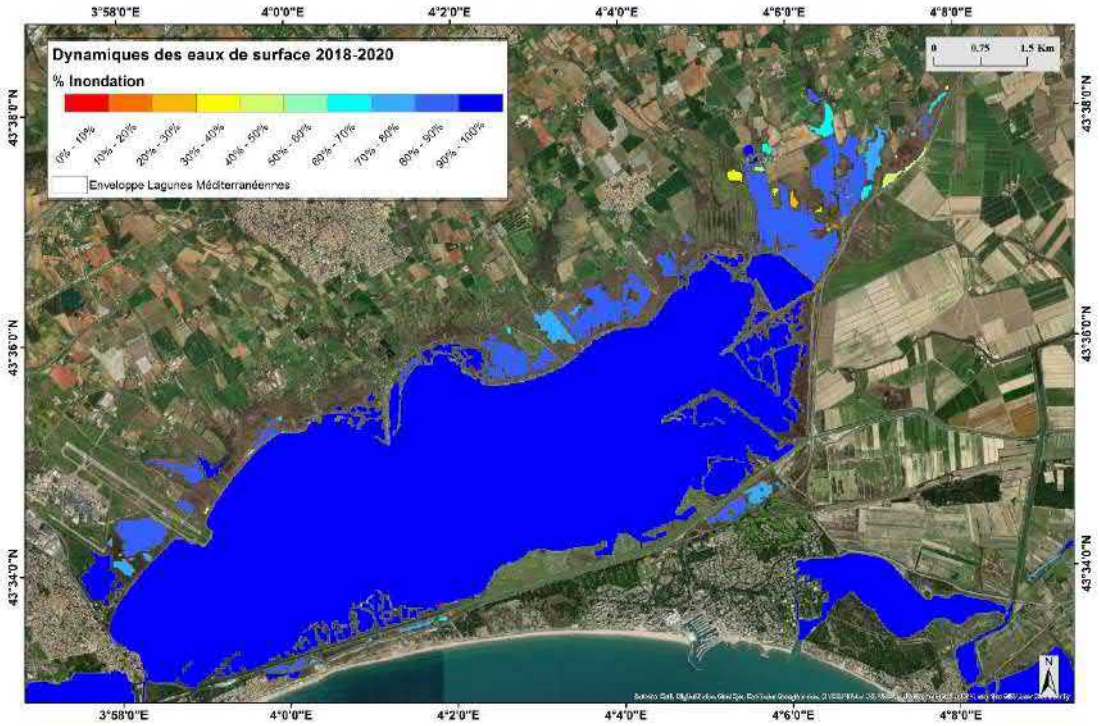

9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°10'0"N
42°8'0"N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
N
0 0.35 0.7 Km

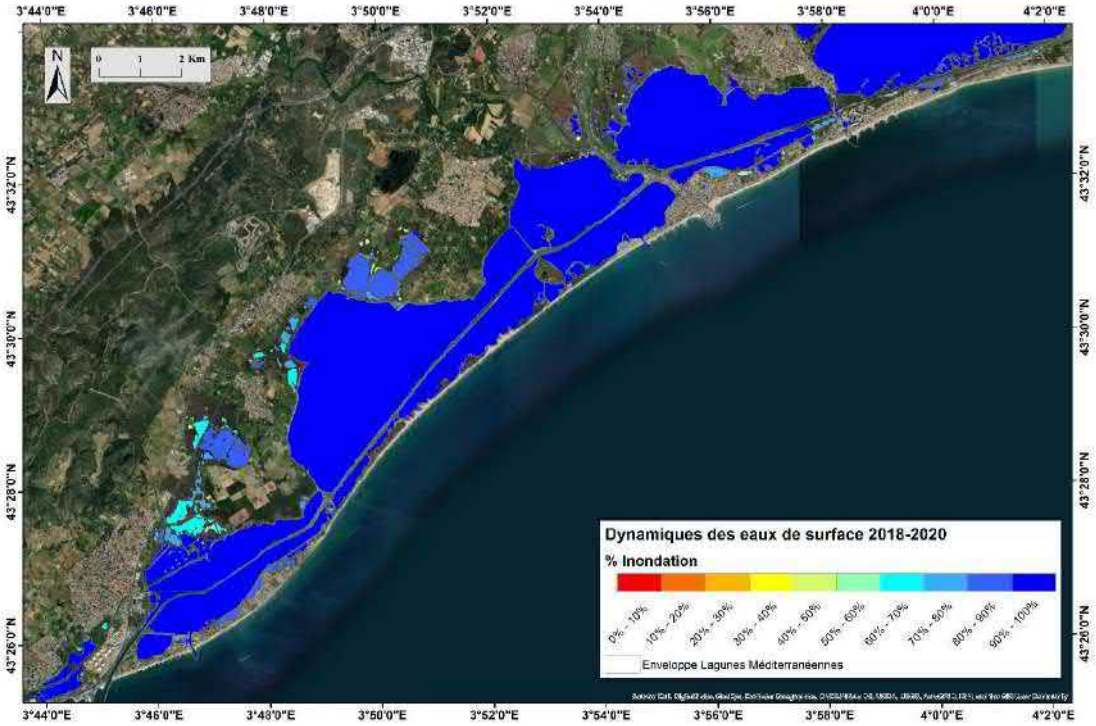

6°44'0"E
43°24'0"N
0 0.15 0.3 Km
N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes

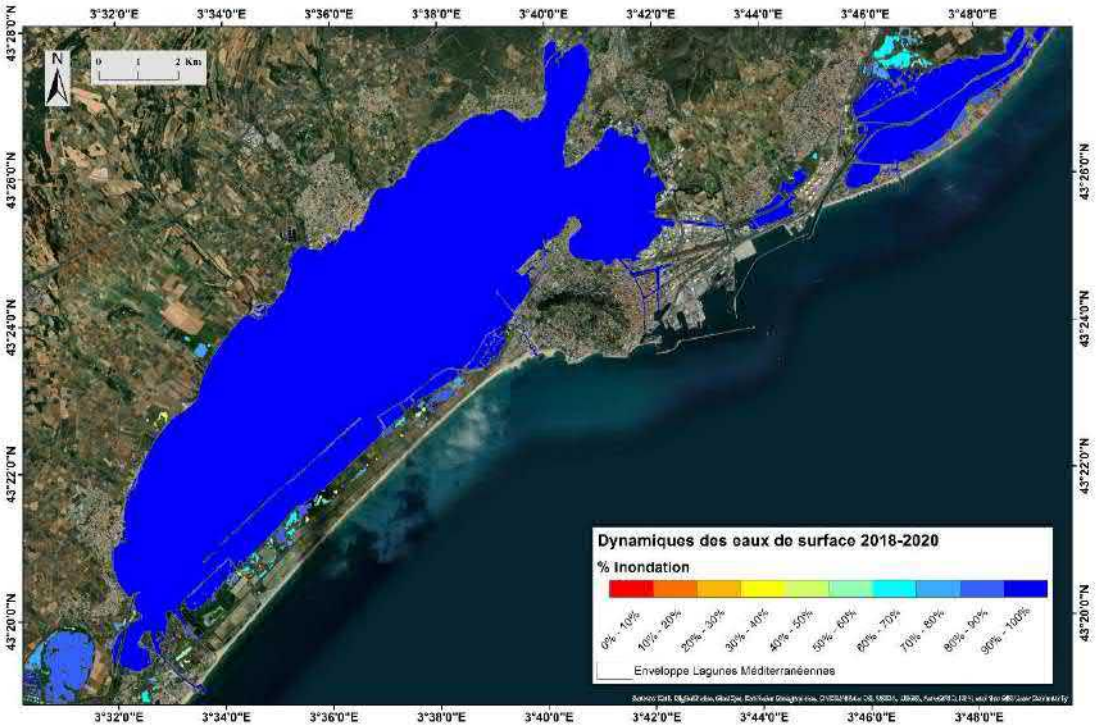

3°30'0"E
3°32'0"E
3°34'0"E
43°20'0"N
43°18'0"N
N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 0,25 0,5 Km

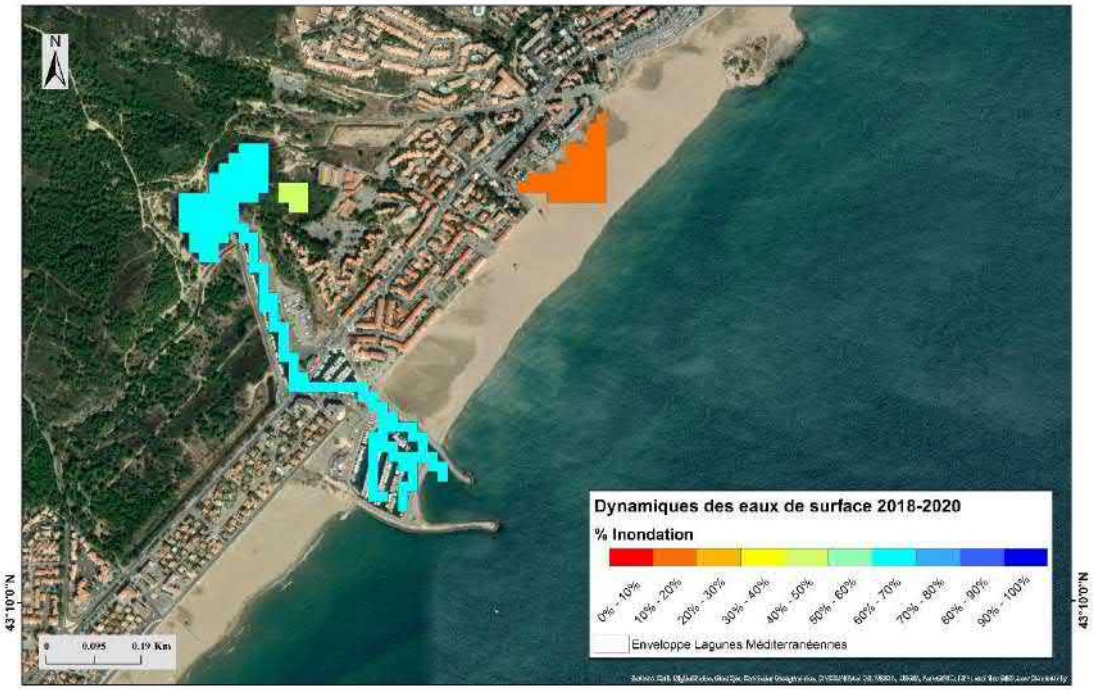

4°56'0"E
4°58'0"E
5°0'0"E
5°2'0"E
5°4'0"E
5°6'0"E
5°8'0"E
5°10'0"E
5°12'0"E
5°14'0"E
5°16'0"E
5°18'0"E
5°20'0"E
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
0 1,5 3 Km
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
N

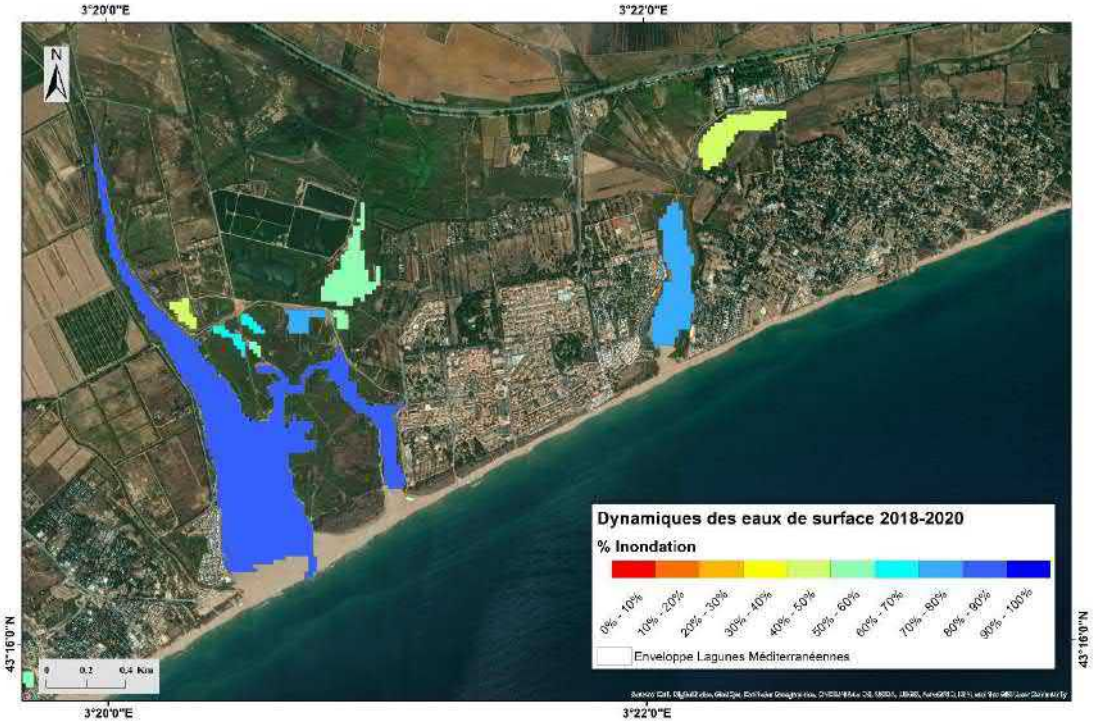

3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
42°40'0"N
N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 0.35 0.7 Km

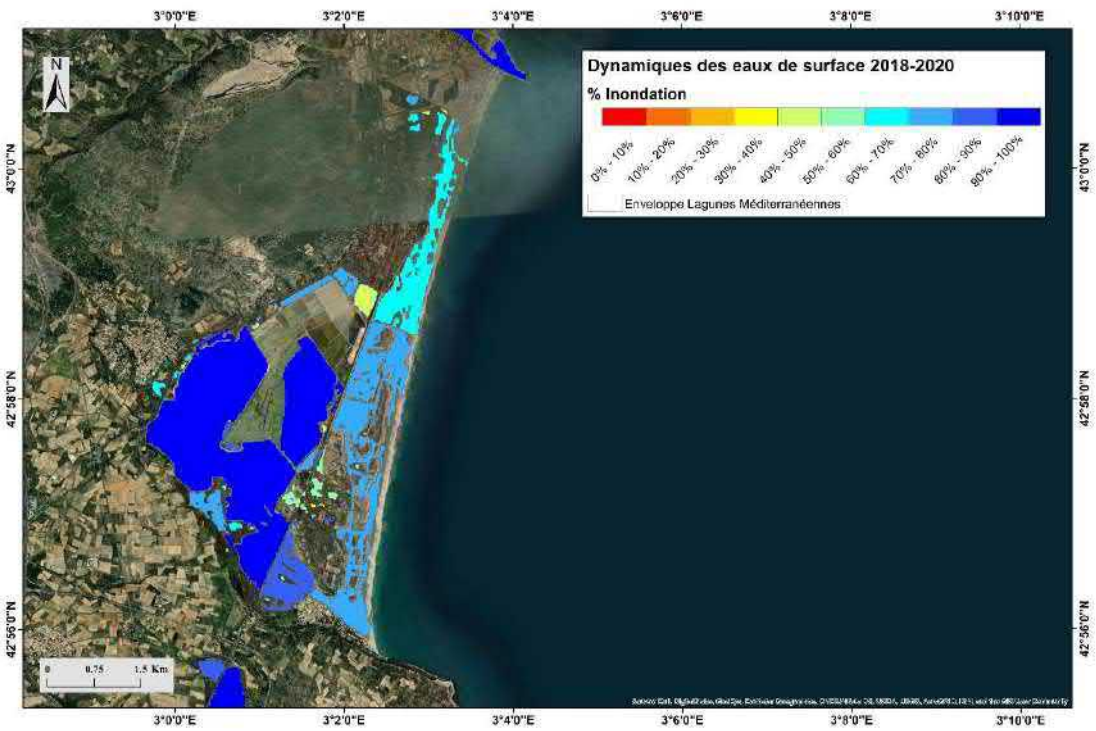

3°58'0"E
4°0'0"E
4°2'0"E
4°4'0"E
4°6'0"E
4°8'0"E
43°38'0"N
43°36'0"N
43°34'0"N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 0.75 1.5 Km
N

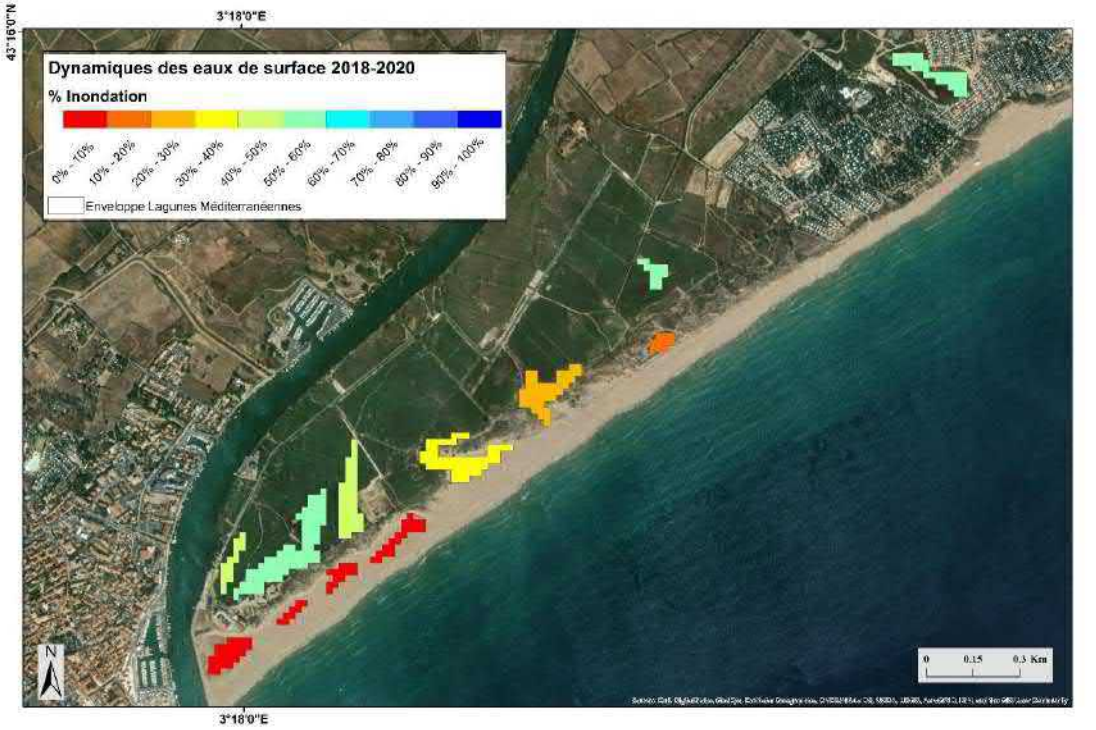

3°44'0"E
3°46'0"E
3°48'0"E
3°50'0"E
3°52'0"E
3°54'0"E
3°56'0"E
3°58'0"E
4°0'0"E
4°2'0"E
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
N
0 1 2 Km
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes

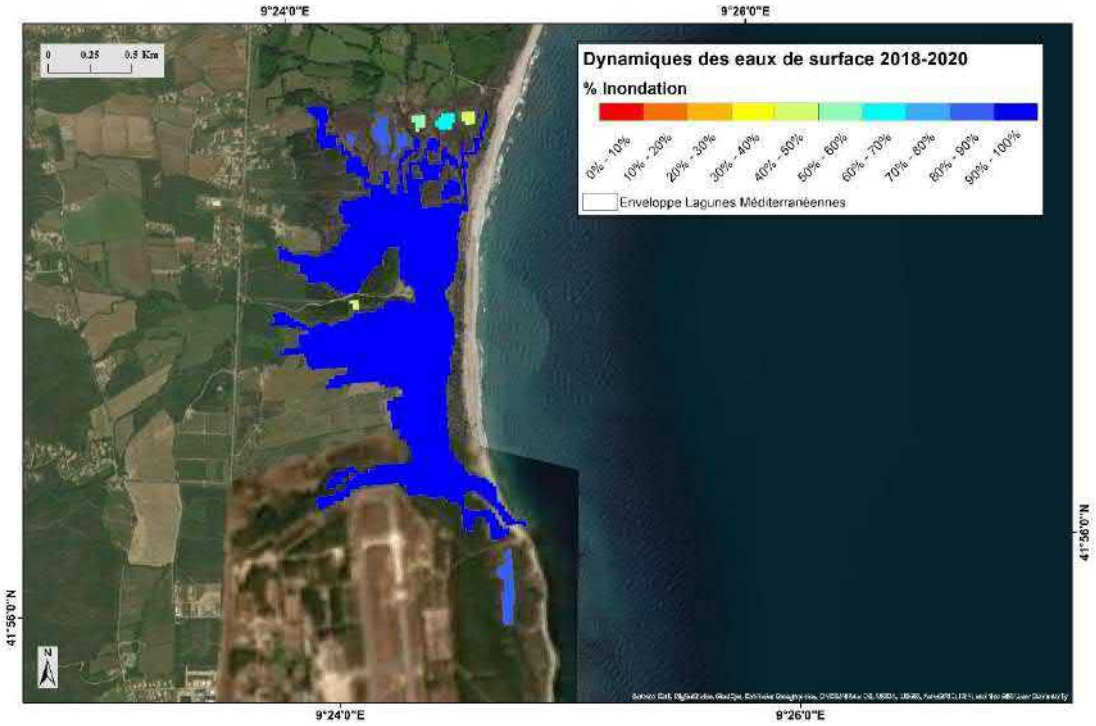

3°32'0"E
3°34'0"E
3°36'0"E
3°38'0"E
3°40'0"E
3°42'0"E
3°44'0"E
3°46'0"E
3°48'0"E
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
43°20'0"N
N
0 1 2 Km
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes

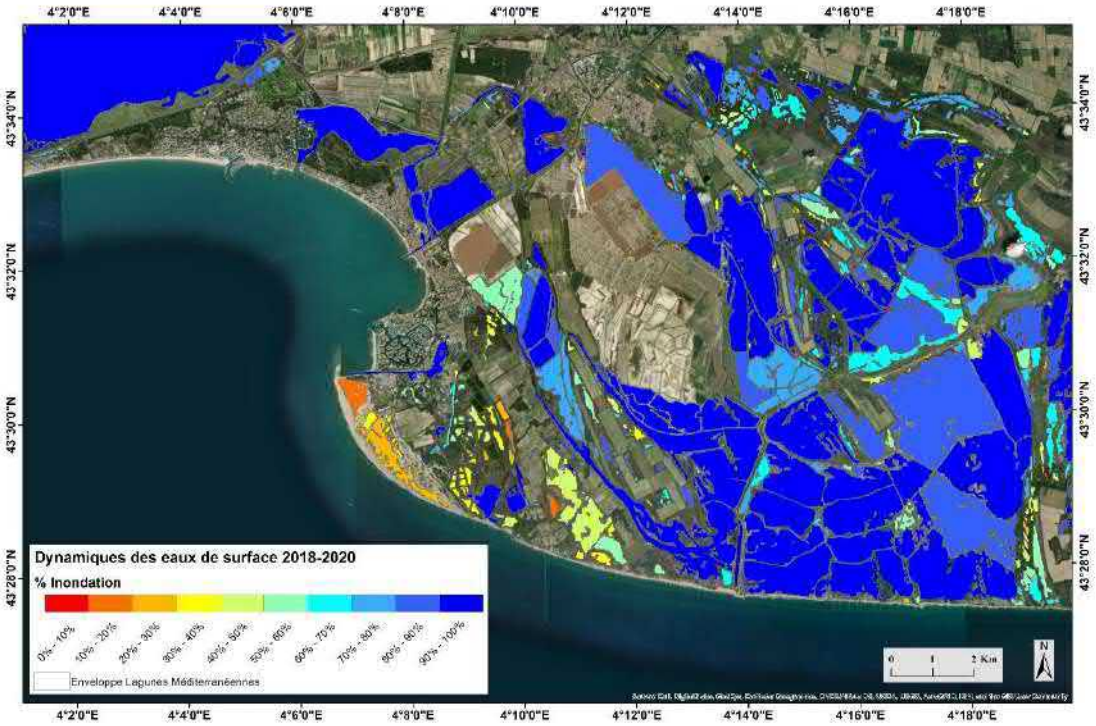

N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 0.095 0.19 Km
43°10'0"N

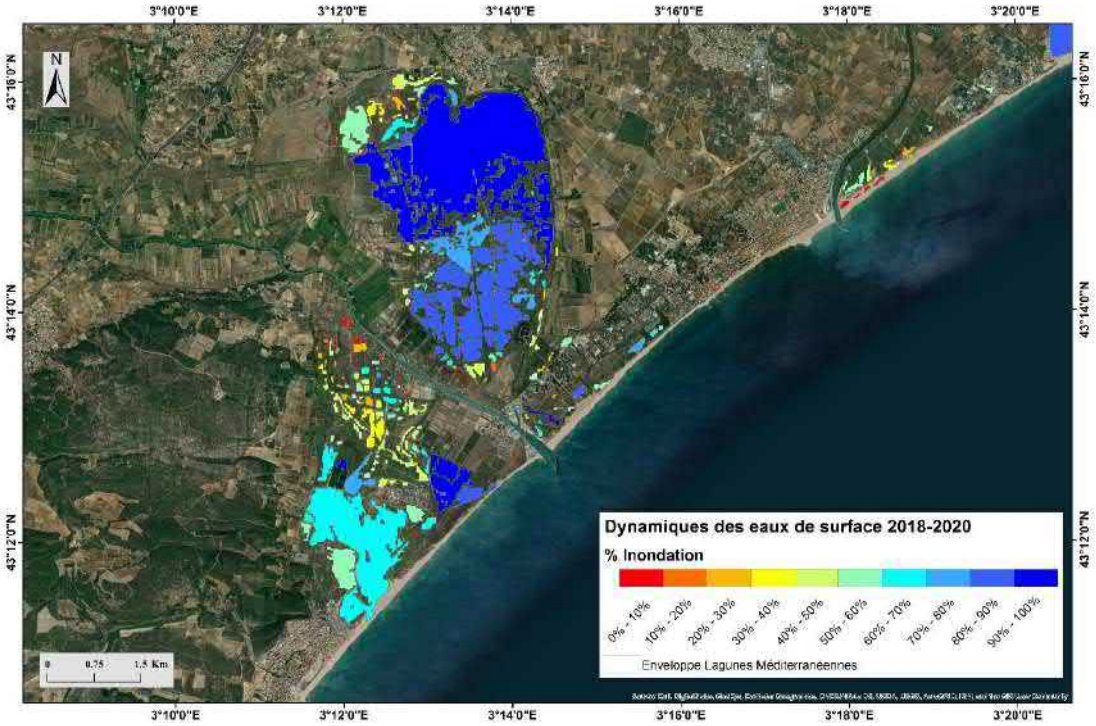

3°20'0"E
3°22'0"E
N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 0.2 0.4 Km
43°16'0"N

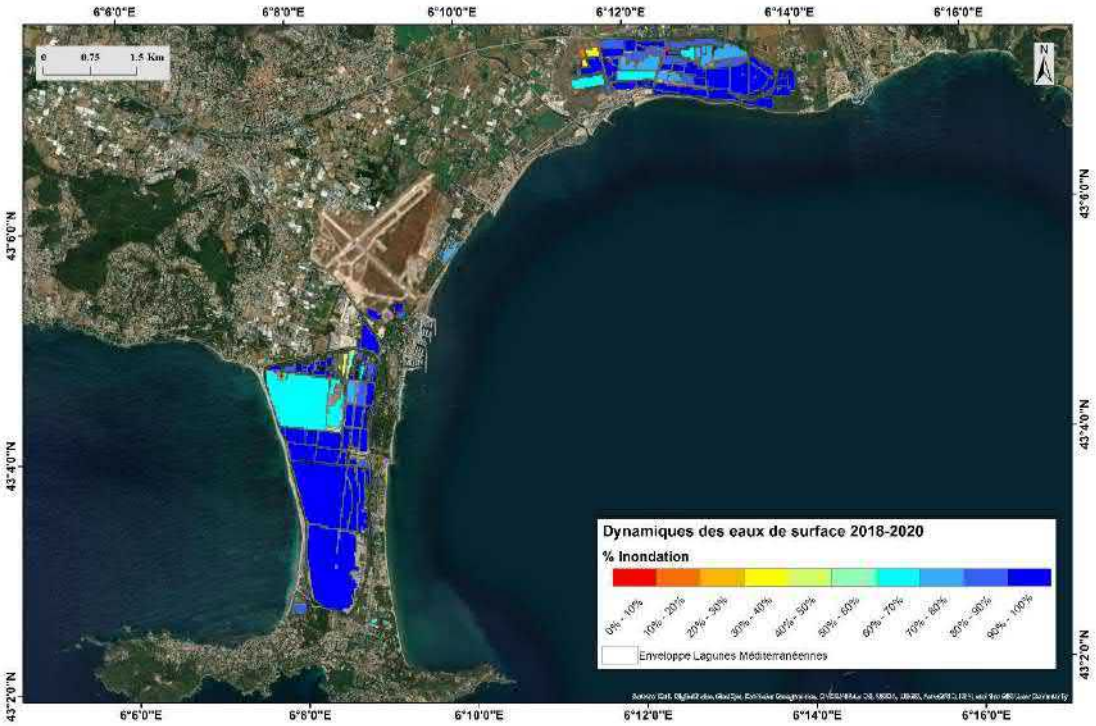

3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
3°6'0"E
3°8'0"E
3°10'0"E
43°0'0"N
42°58'0"N
42°56'0"N
N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 0.75 1.5 Km

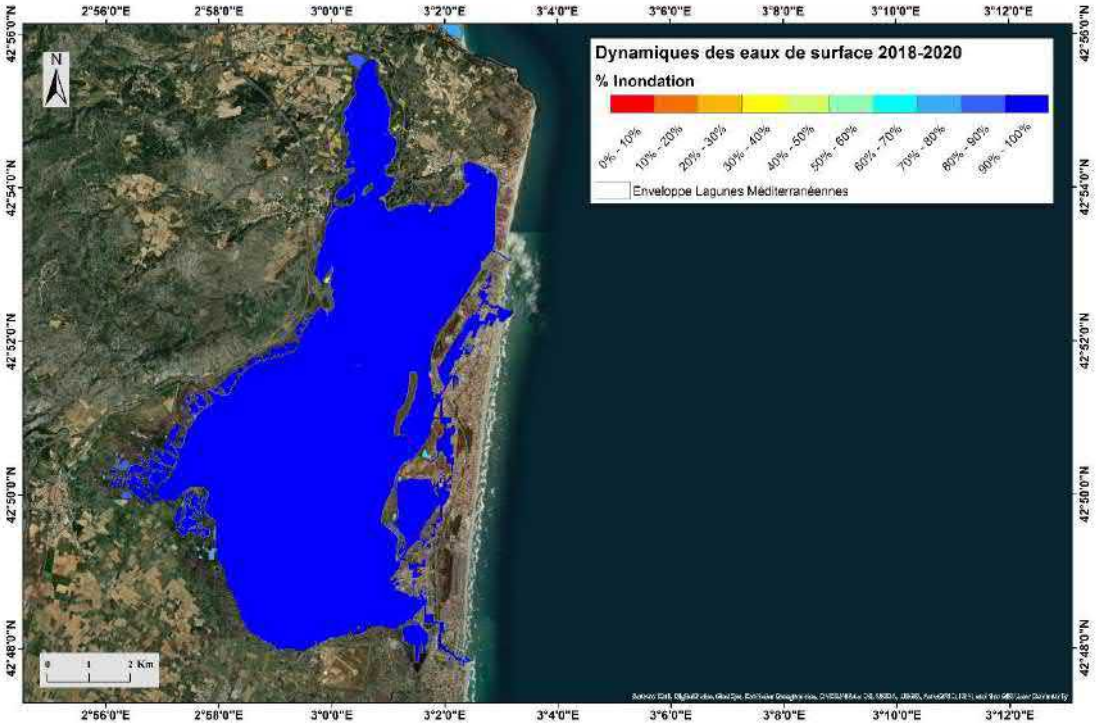

3°18'0"E
43°16'0"N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
N
0 0.15 0.3 Km

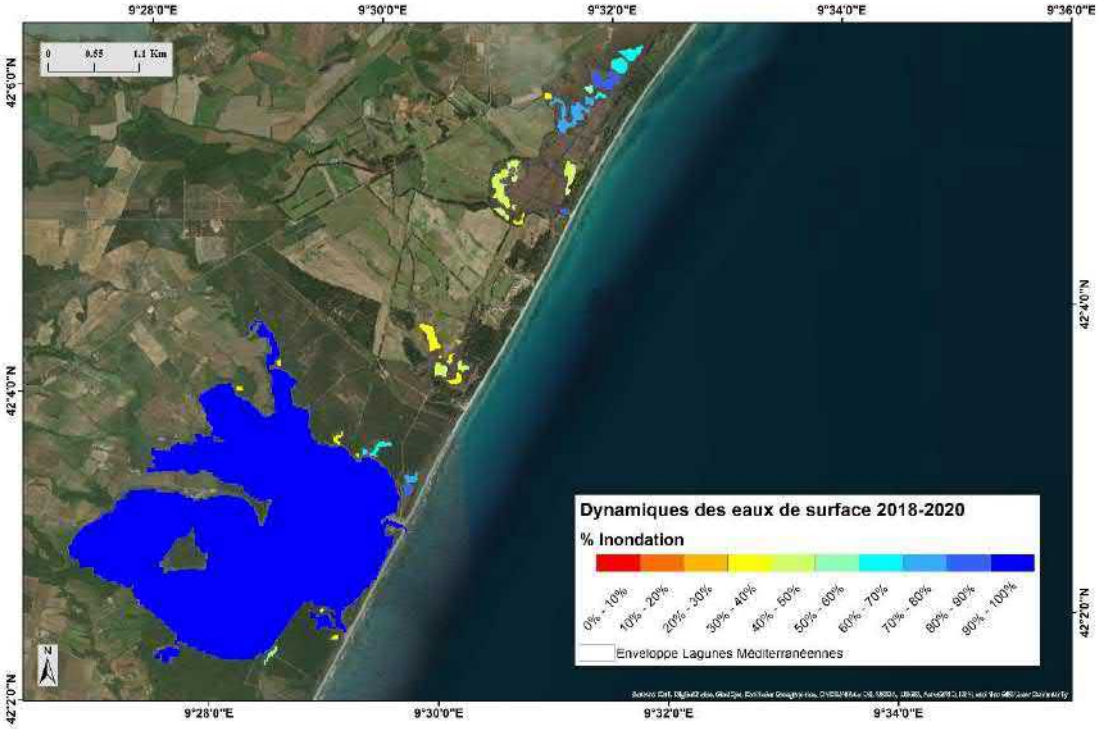

9°24'0"E
9°26'0"E
41°56'0"N
0 0.25 0.5 Km
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
N


4°2'0"E
4°4'0"E
4°6'0"E
4°8'0"E
4°10'0"E
4°12'0"E
4°14'0"E
4°16'0"E
4°18'0"E
43°34'0"N
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
0 1 2 Km
N

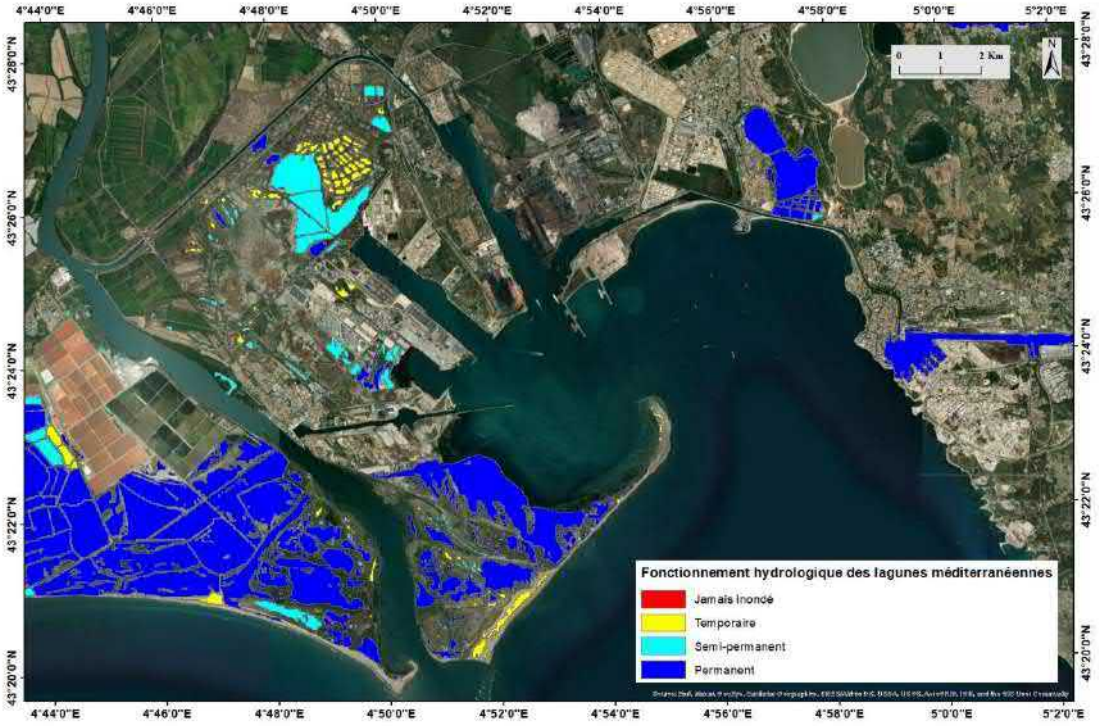

3°10'0"E
3°12'0"E
3°14'0"E
3°16'0"E
3°18'0"E
3°20'0"E
43°16'0"N
43°14'0"N
43°12'0"N
N
0 0.75 1.5 Km
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes

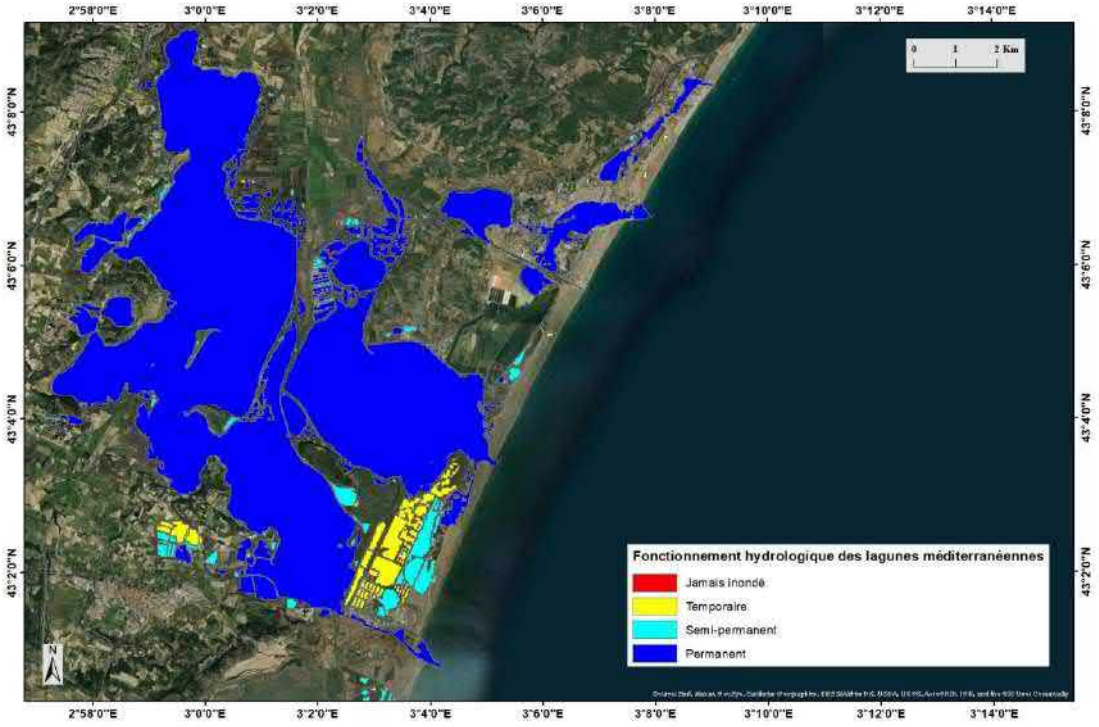

6°6'0"E
6°8'0"E
6°10'0"E
6°12'0"E
6°14'0"E
6°16'0"E
43°6'0"N
43°4'0"N
43°2'0"N
0 0.75 1.5 Km
N
Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes

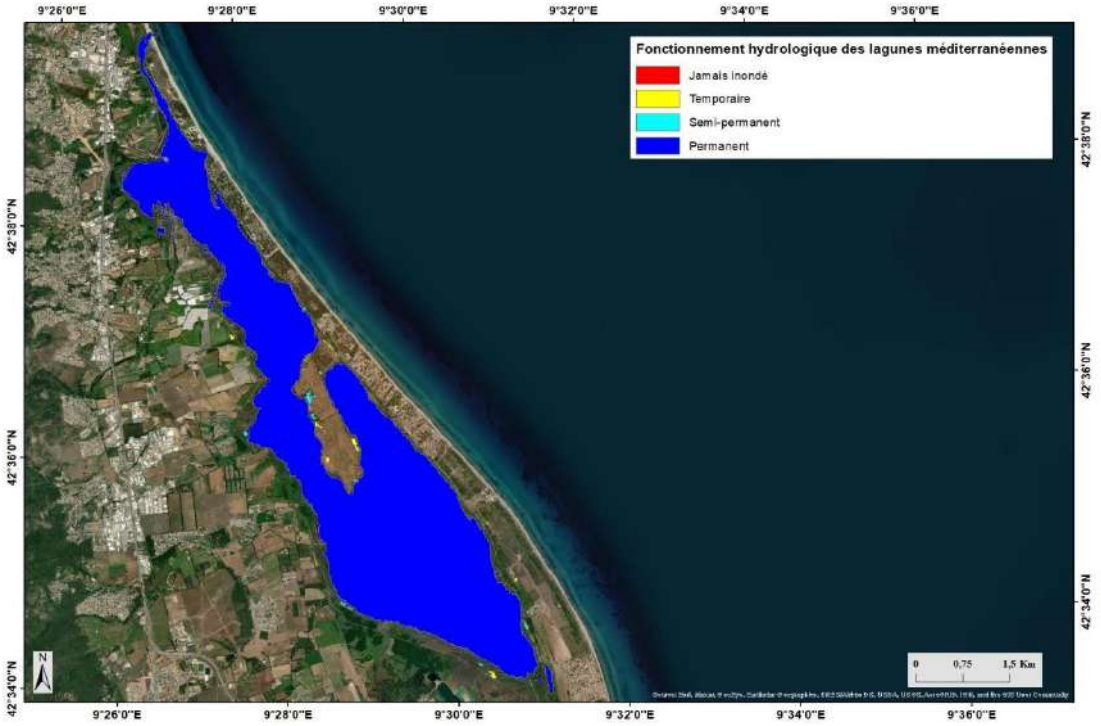

Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
N
0 1 2 Km
2°56'0"E
2°58'0"E
3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
3°6'0"E
3°8'0"E
3°10'0"E
3°12'0"E
42°56'0"N
42°54'0"N
42°52'0"N
42°50'0"N
42°48'0"N

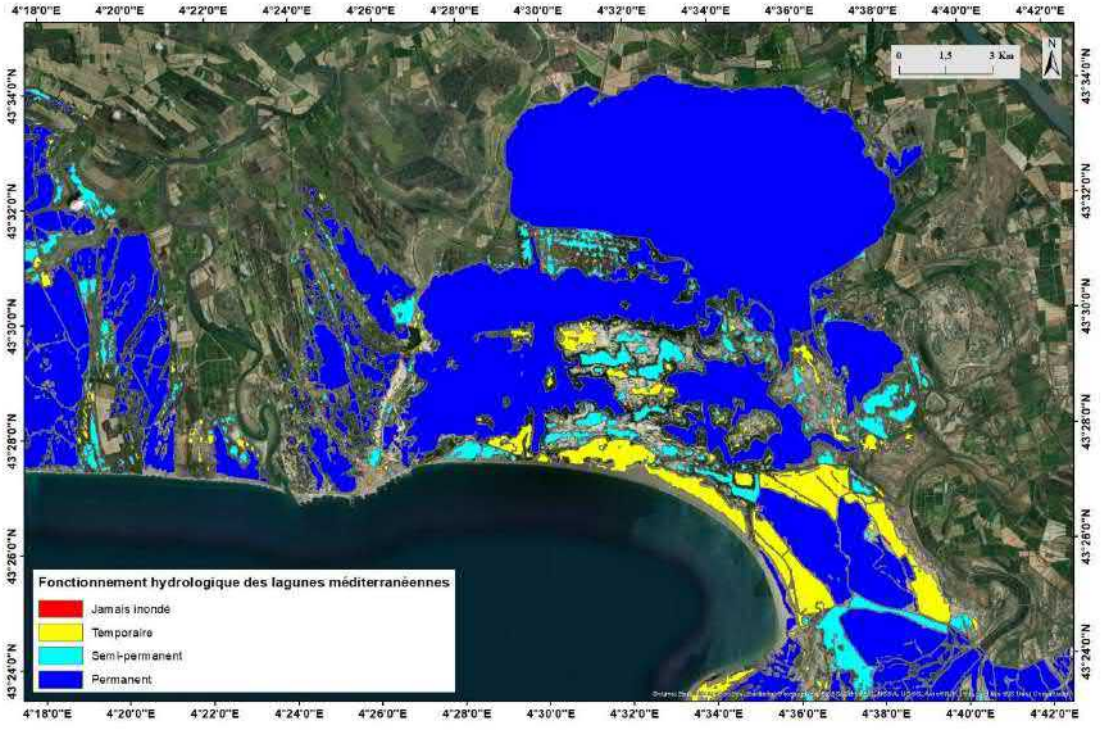

Dynamiques des eaux de surface 2018-2020
% Inondation
0% - 10%
10% - 20%
20% - 30%
30% - 40%
40% - 50%
50% - 60%
60% - 70%
70% - 80%
80% - 90%
90% - 100%
Enveloppe Lagunes Méditerranéennes
N
0 0.55 1.1 Km
9°28'0"E
9°30'0"E
9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°6'0"N
42°4'0"N
42°2'0"N

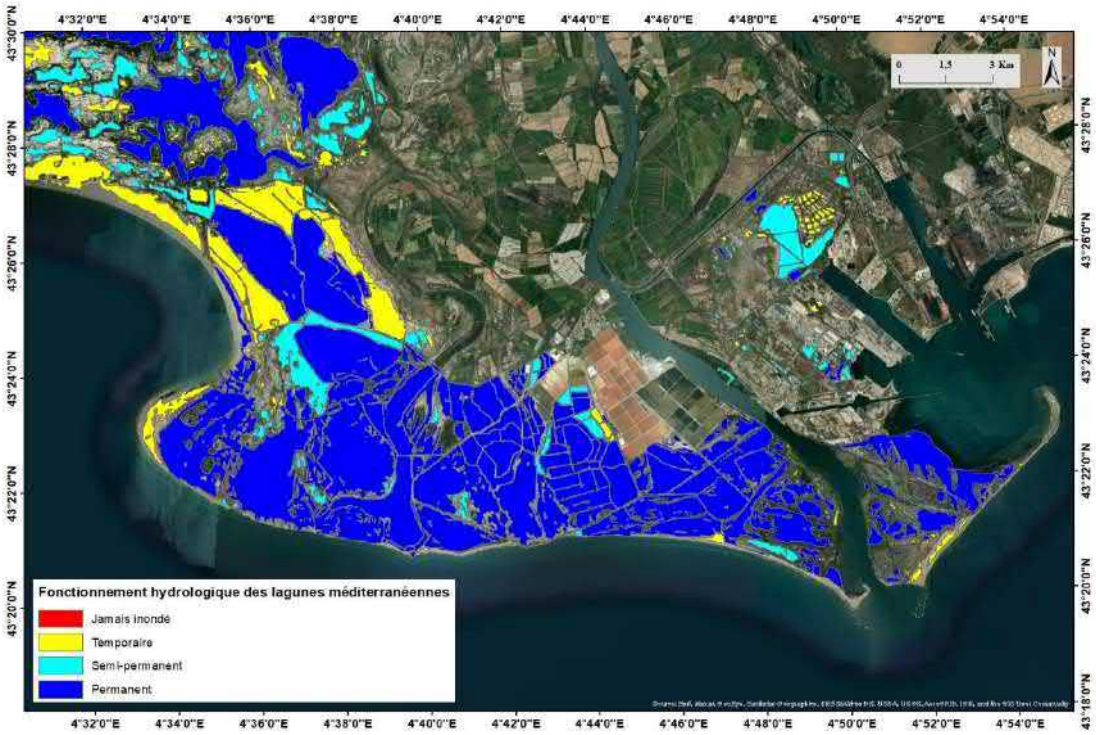
Annexe 3 : Cartes des unités « lagunes » en fonction des 4 classes d'inondation définies.

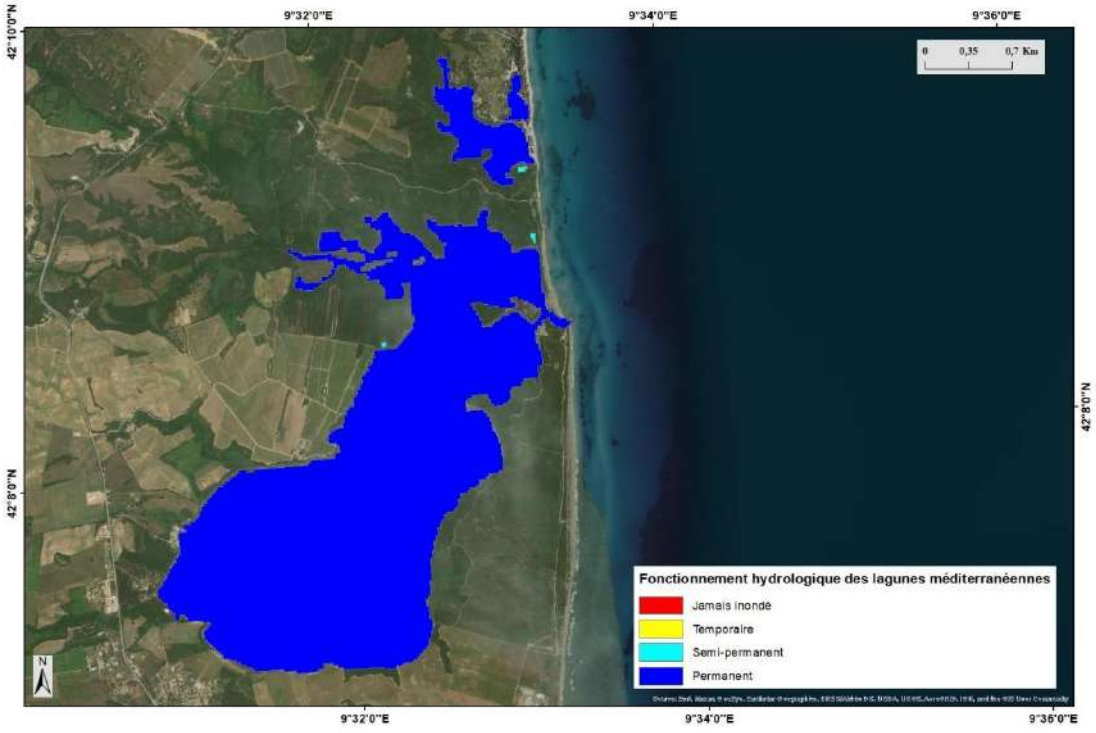




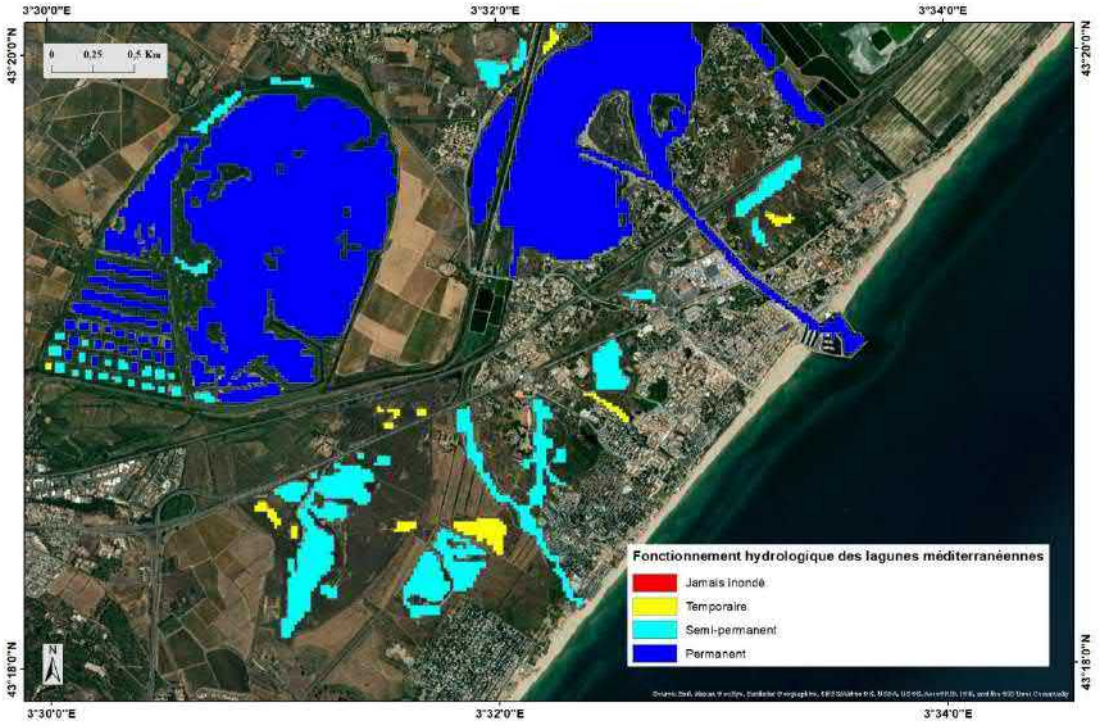

Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
9°26'0"E
9°28'0"E
9°30'0"E
9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°38'0"N
42°36'0"N
42°34'0"N
0 0,75 1,5 Km
N


Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
4°18'0"E
4°20'0"E
4°22'0"E
4°24'0"E
4°26'0"E
4°28'0"E
4°30'0"E
4°32'0"E
4°34'0"E
4°36'0"E
4°38'0"E
4°40'0"E
4°42'0"E
43°34'0"N
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
0 1,5 3 Km
N

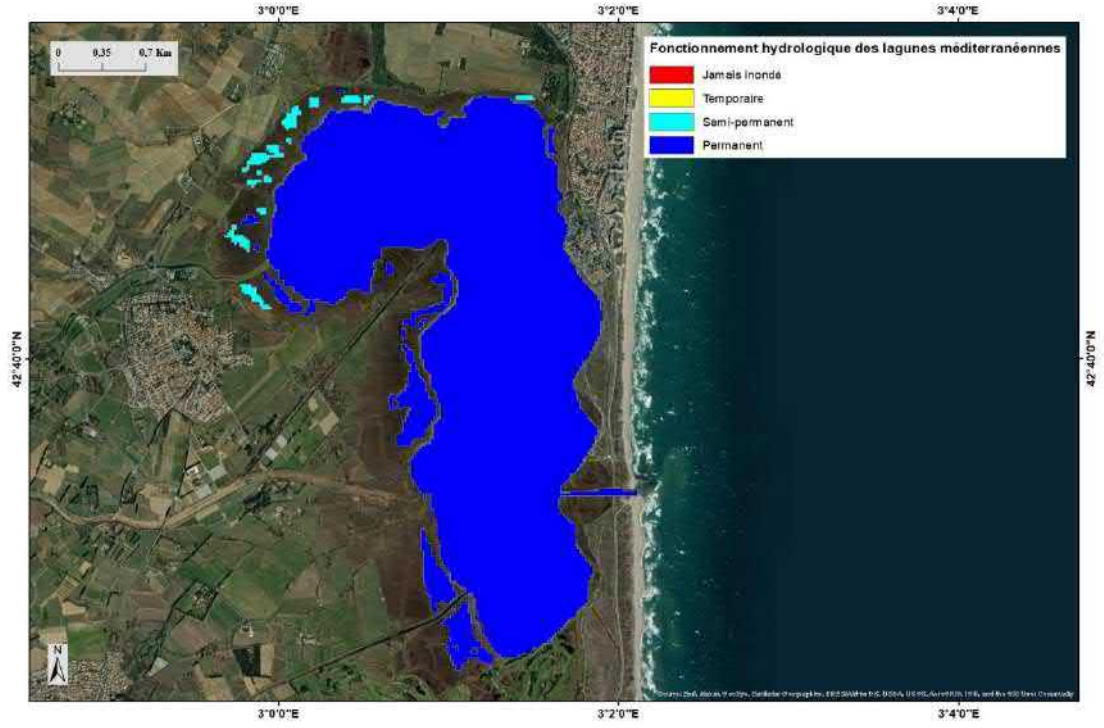

4°32'0"E
4°34'0"E
4°36'0"E
4°38'0"E
4°40'0"E
4°42'0"E
4°44'0"E
4°46'0"E
4°48'0"E
4°50'0"E
4°52'0"E
4°54'0"E
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
43°20'0"N
43°18'0"N
0 1,5 3 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent

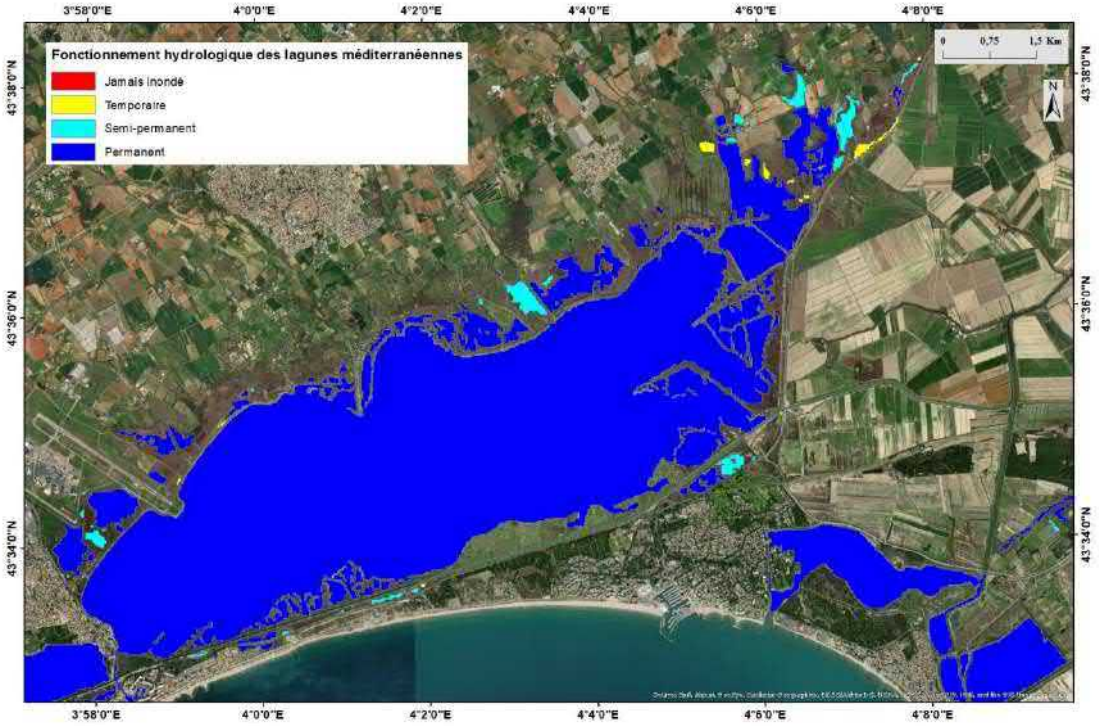

9°32'0"E
9°34'0"E
9°36'0"E
42°10'0"N
42°8'0"N
0 0,35 0,7 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent

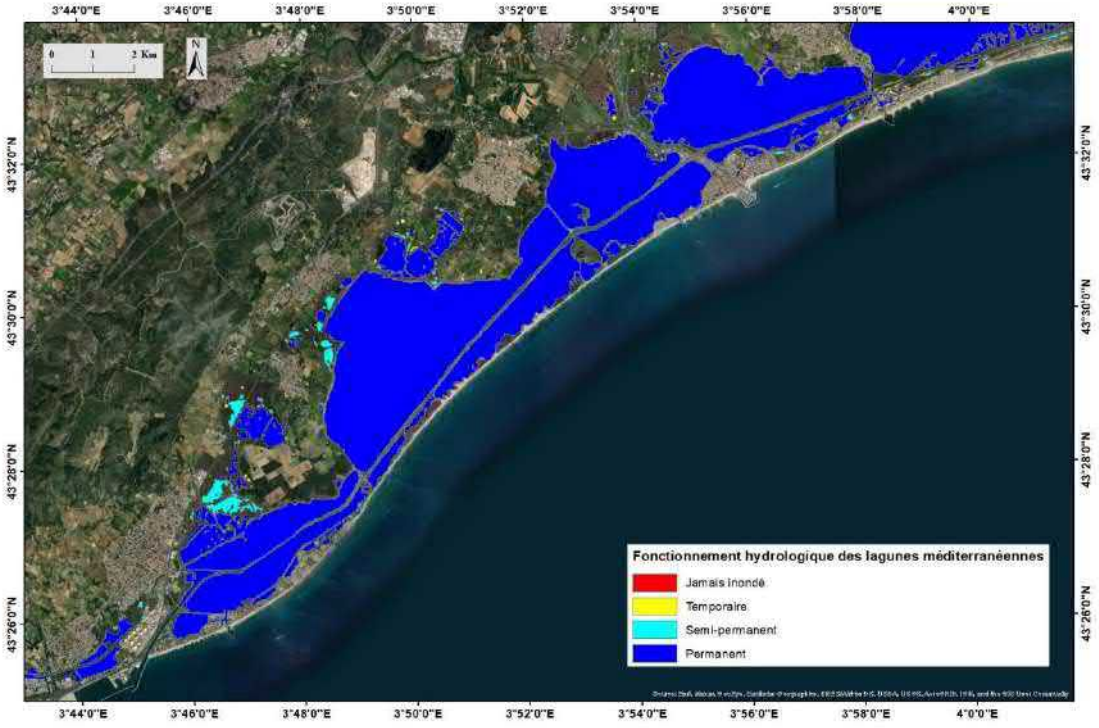

6°44'0"E
0 0,15 0,3 Km
N
43°24'0"N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent

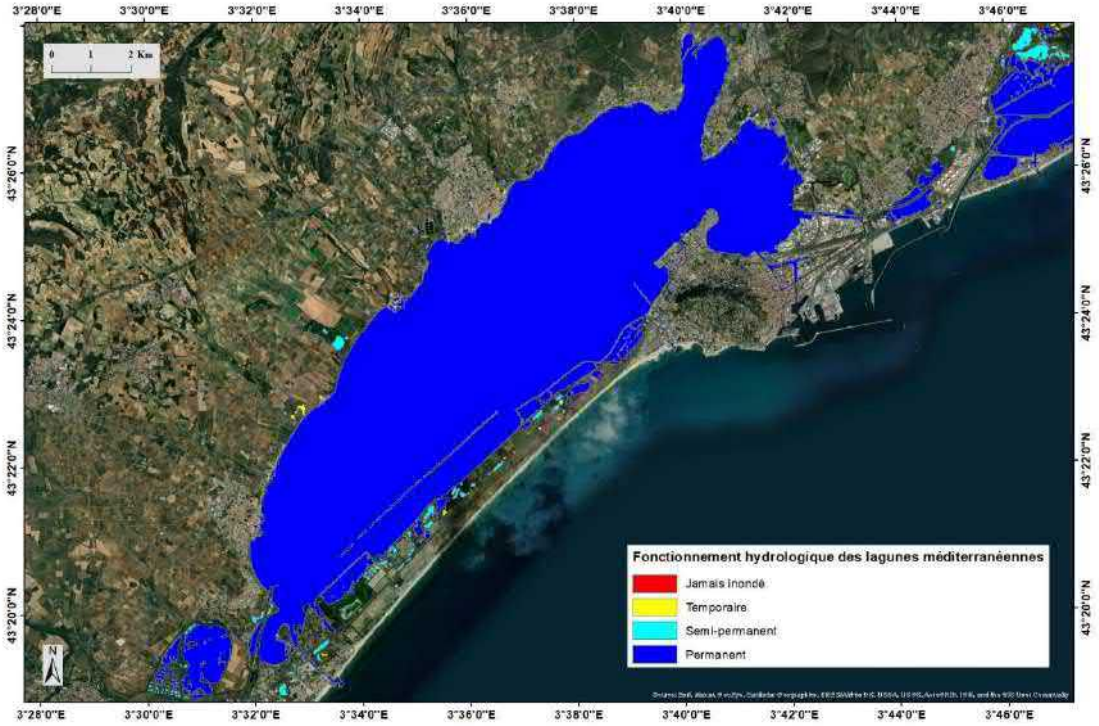

3°30'0"E
3°32'0"E
3°34'0"E
43°20'0"N
43°18'0"N
0 0,25 0,5 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent

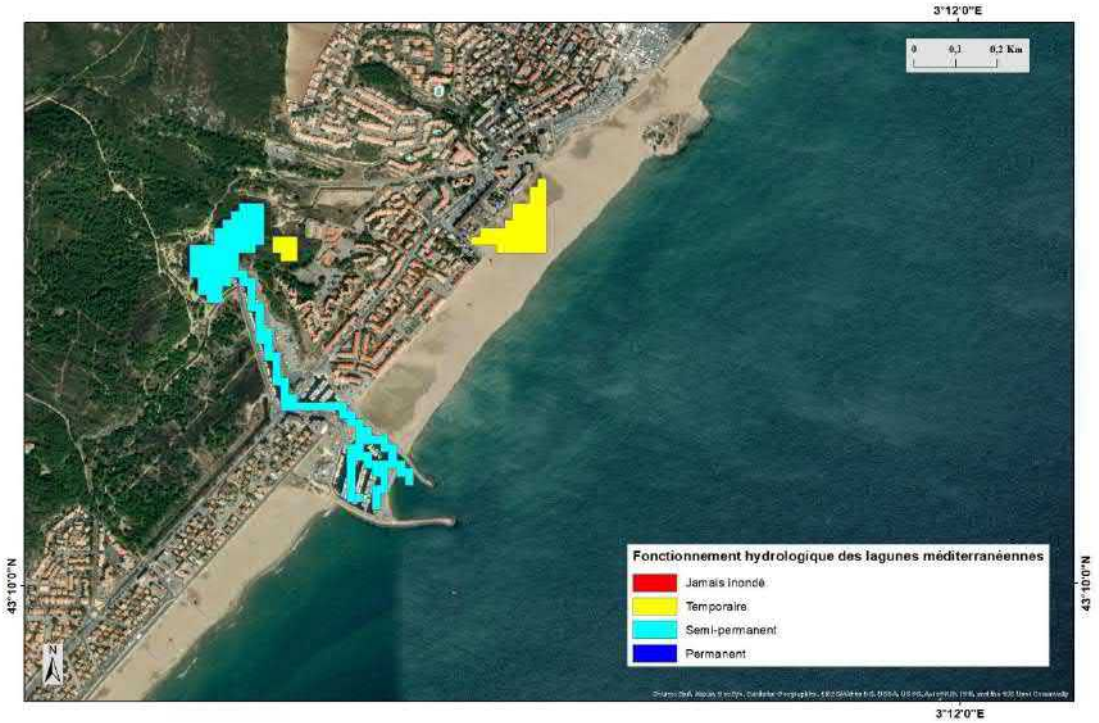

Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
0 1,5 3 Km
N
4°50'0"E
4°52'0"E
4°54'0"E
4°56'0"E
4°58'0"E
5°0'0"E
5°2'0"E
5°4'0"E
5°6'0"E
5°8'0"E
5°10'0"E
5°12'0"E
5°14'0"E
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N
43°24'0"N

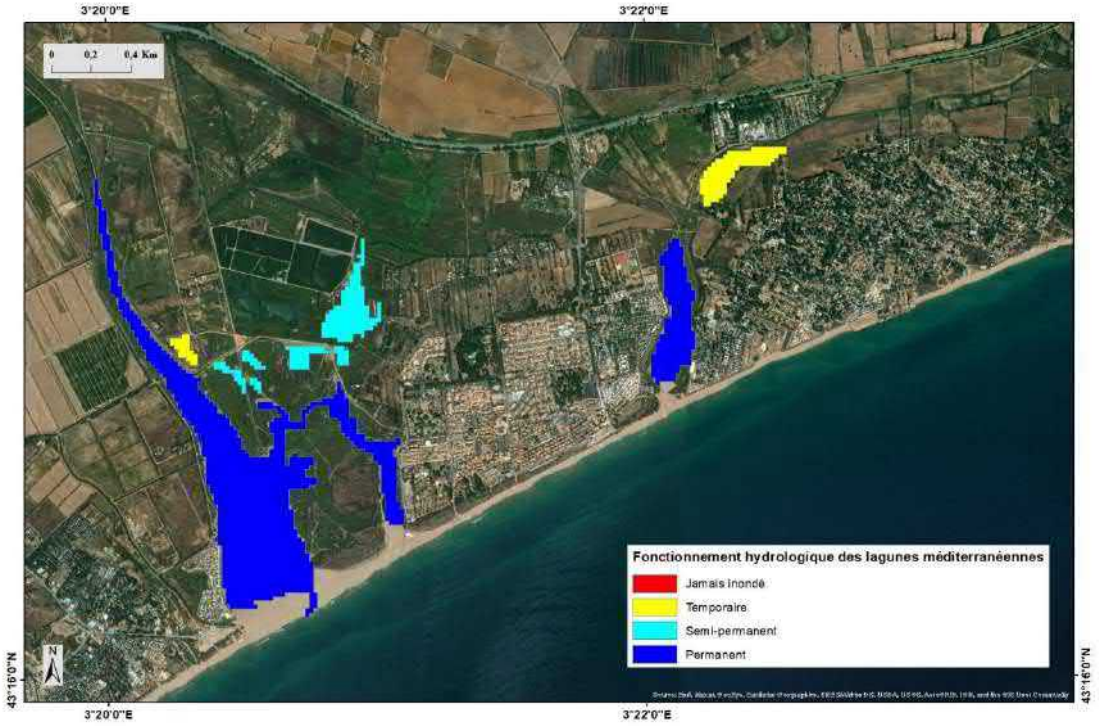

Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
0 0,35 0,7 Km
N
3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
42°40'0"N

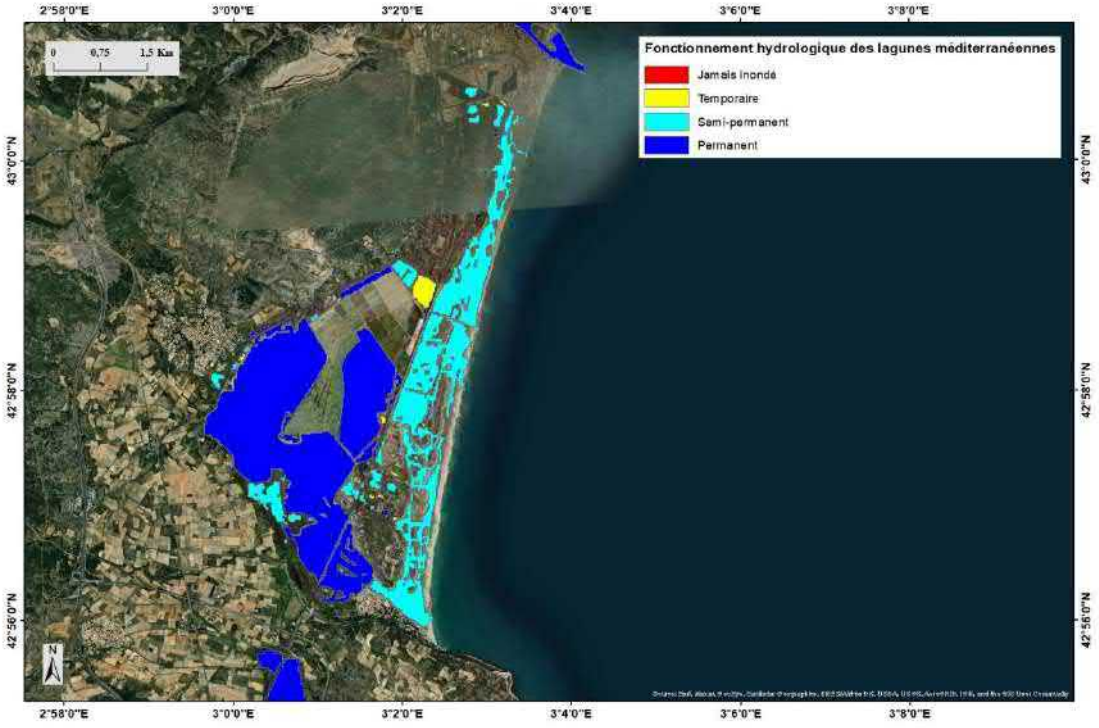

Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
0 0,75 1,5 Km
N
3°58'0"E
4°0'0"E
4°2'0"E
4°4'0"E
4°6'0"E
4°8'0"E
43°38'0"N
43°36'0"N
43°34'0"N


0 1 2 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
3°44'0"E
3°46'0"E
3°48'0"E
3°50'0"E
3°52'0"E
3°54'0"E
3°56'0"E
3°58'0"E
4°0'0"E
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
43°26'0"N

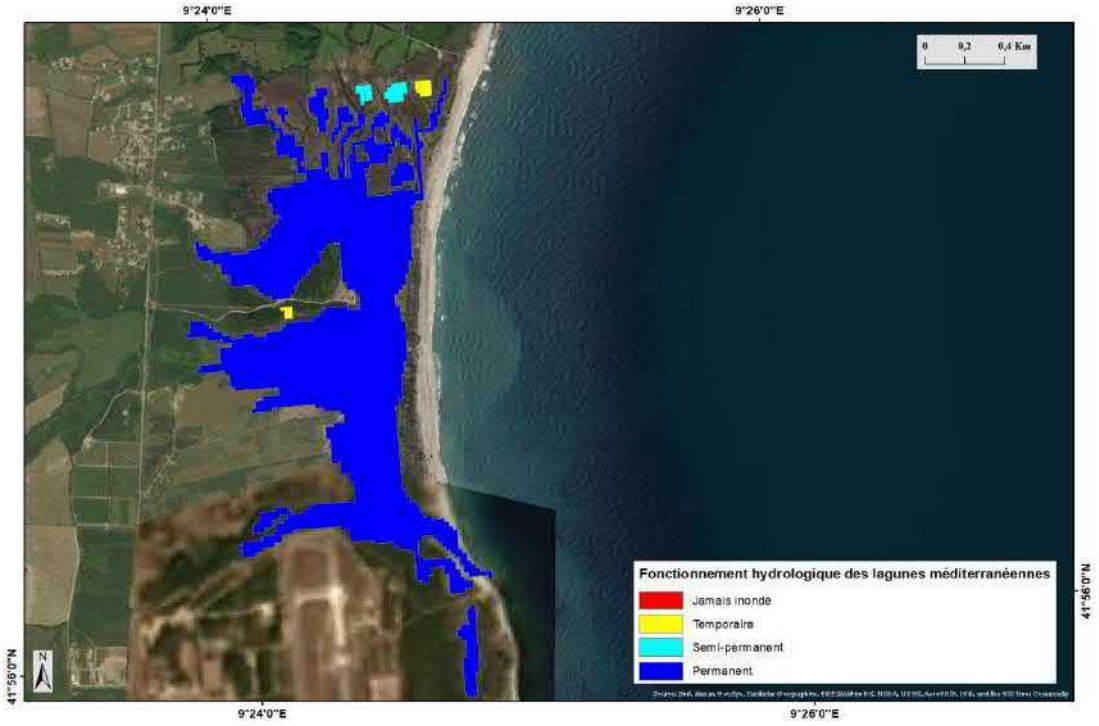

3°28'0"E
3°30'0"E
3°32'0"E
3°34'0"E
3°36'0"E
3°38'0"E
3°40'0"E
3°42'0"E
3°44'0"E
3°46'0"E
43°26'0"N
43°24'0"N
43°22'0"N
43°20'0"N
0 1 2 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent

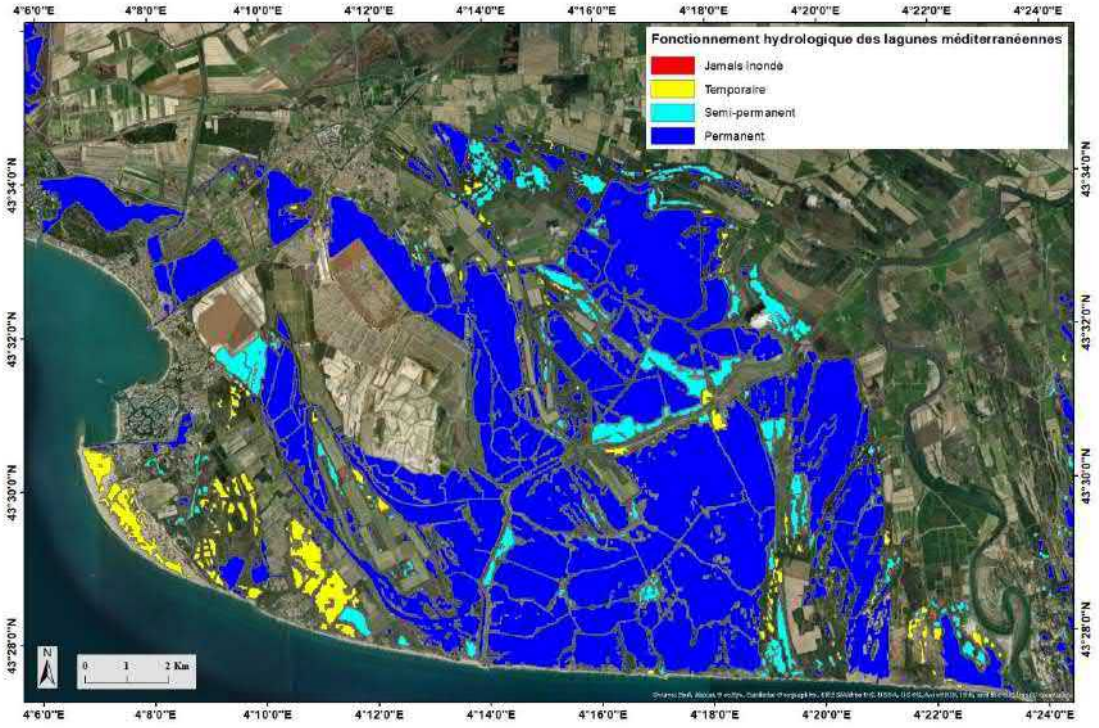

3°12'0"E
43°10'0"N
0 0,1 0,2 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent

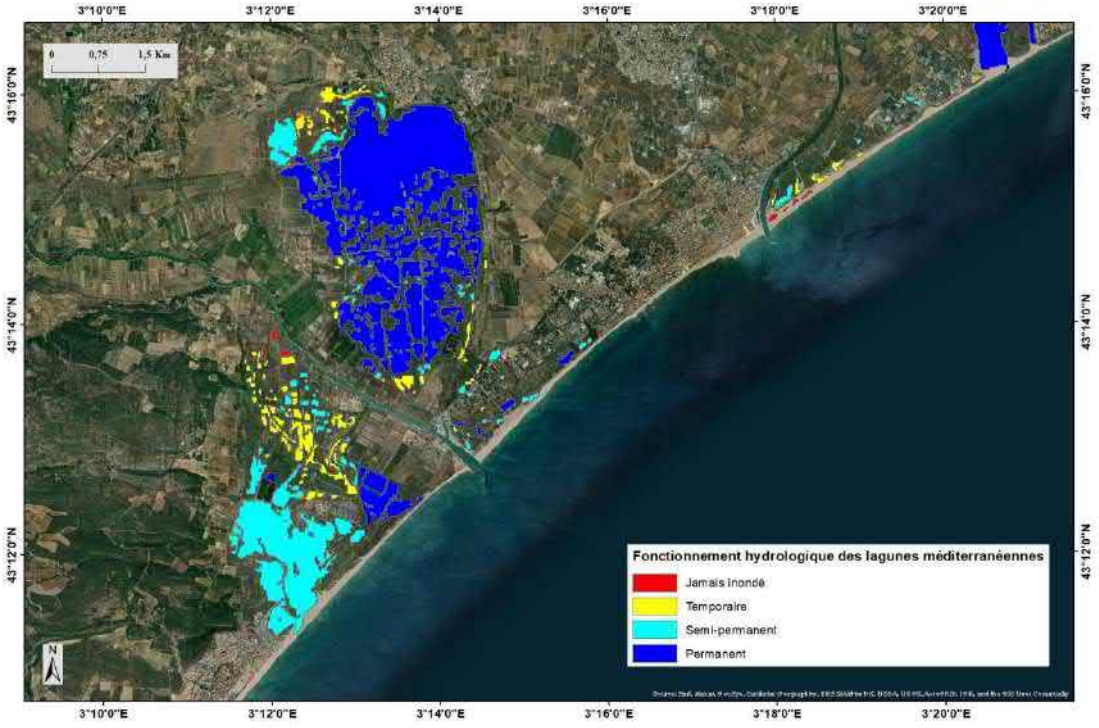

3°20'0"E
3°22'0"E
0 0,2 0,4 Km
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
N
43°16'0"N

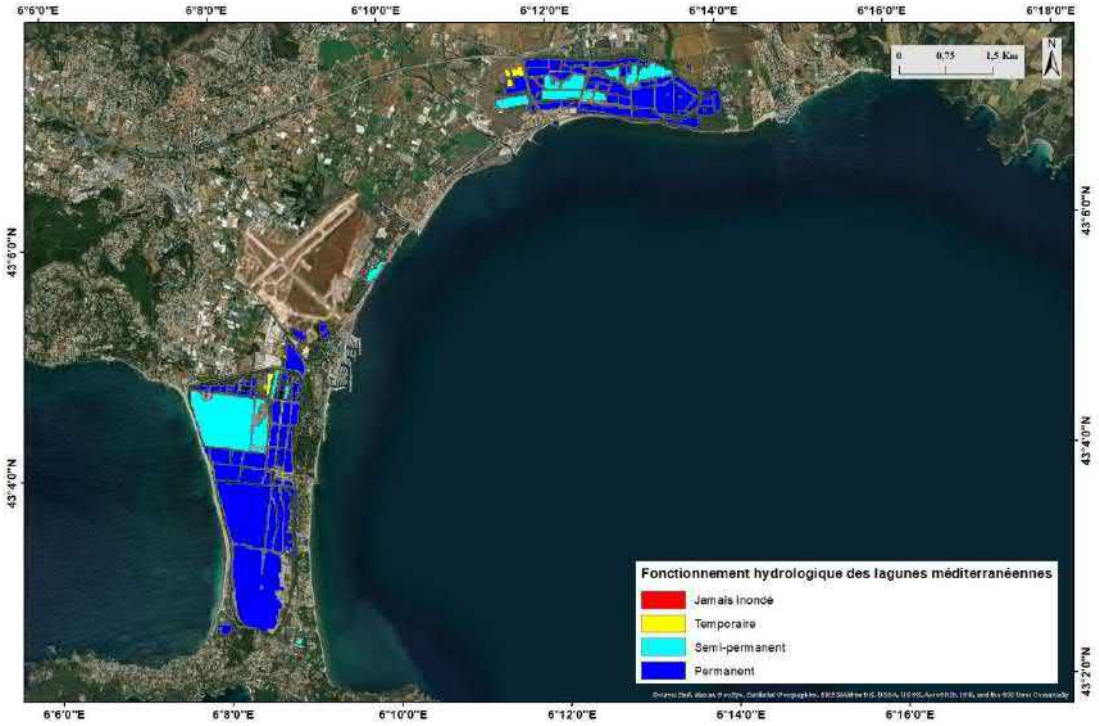

2°58'0"E
3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
3°6'0"E
3°8'0"E
0 0,75 1,5 Km
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
N
43°0'0"N
42°58'0"N
42°56'0"N

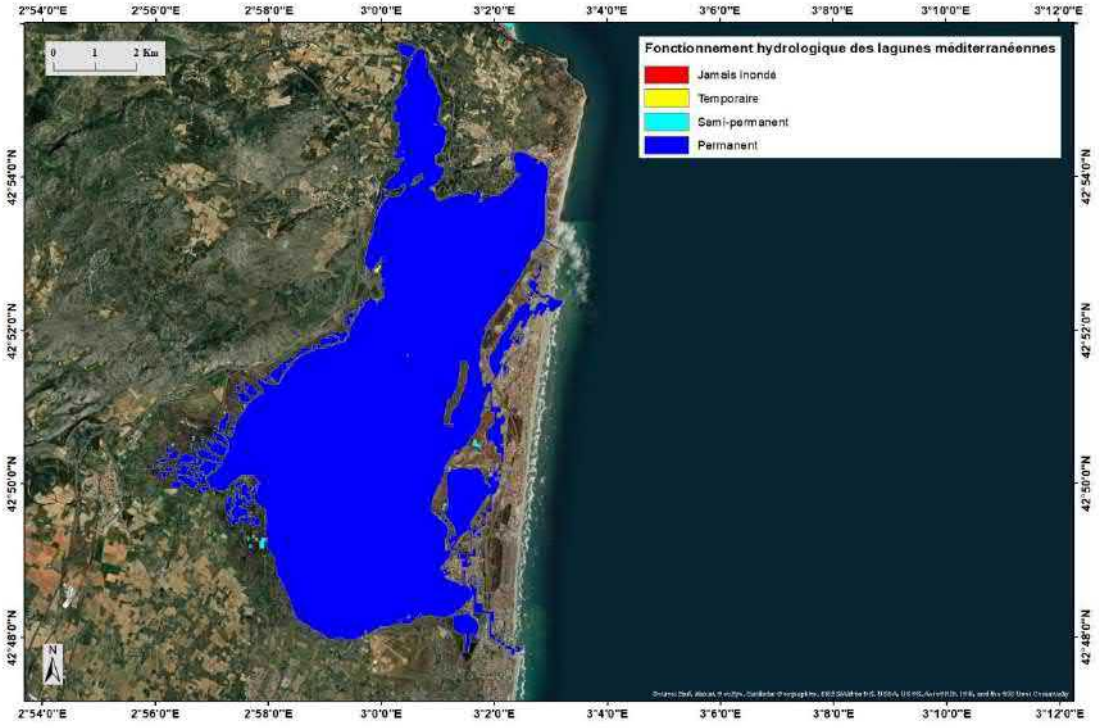

3°18'0"E
3°20'0"E
43°16'0"N
0 0,2 0,4 Km
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
N

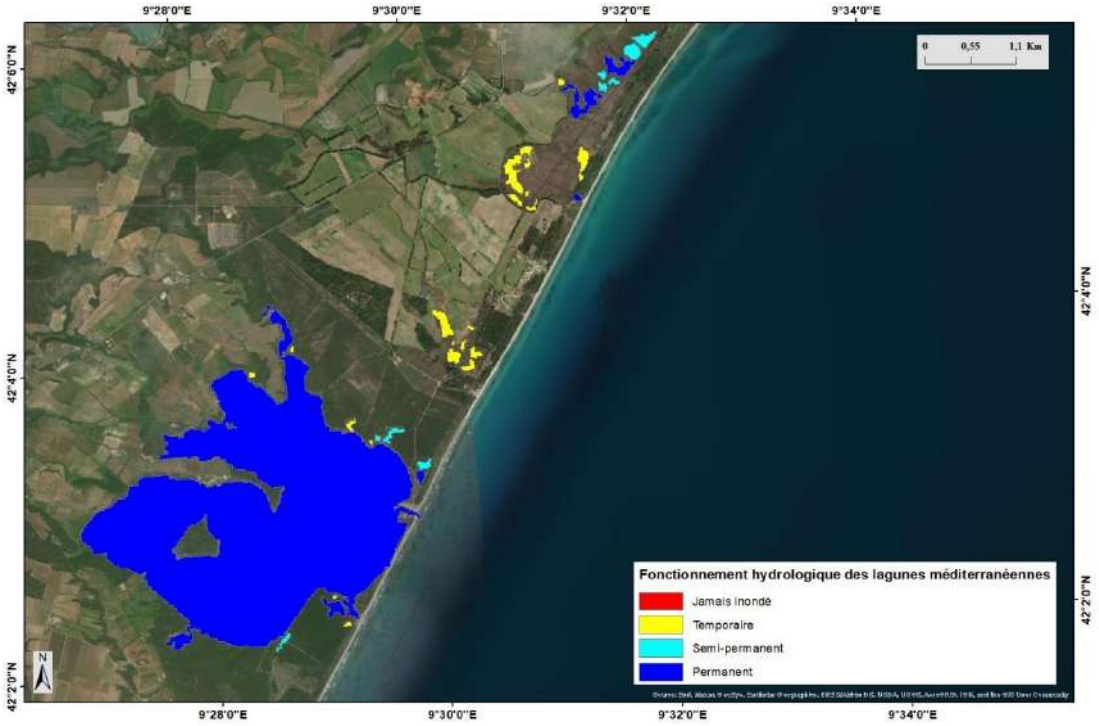

9°24'0"E
9°26'0"E
41°56'0"N
0 0,2 0,4 Km
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
N


Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
4°6'0"E
4°8'0"E
4°10'0"E
4°12'0"E
4°14'0"E
4°16'0"E
4°18'0"E
4°20'0"E
4°22'0"E
4°24'0"E
43°34'0"N
43°32'0"N
43°30'0"N
43°28'0"N
0 1 2 Km
N


Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent
3°10'0"E
3°12'0"E
3°14'0"E
3°16'0"E
3°18'0"E
3°20'0"E
43°16'0"N
43°14'0"N
43°12'0"N
0 0,75 1,5 Km
N


6°6'0"E
6°8'0"E
6°10'0"E
6°12'0"E
6°14'0"E
6°16'0"E
6°18'0"E
43°6'0"N
43°4'0"N
43°2'0"N
0 0,75 1,5 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent


2°54'0"E
2°56'0"E
2°58'0"E
3°0'0"E
3°2'0"E
3°4'0"E
3°6'0"E
3°8'0"E
3°10'0"E
3°12'0"E
42°54'0"N
42°52'0"N
42°50'0"N
42°48'0"N
0 1 2 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent


9°28'0"E
9°30'0"E
9°32'0"E
9°34'0"E
42°6'0"N
42°4'0"N
42°2'0"N
0 0,55 1,1 Km
N
Fonctionnement hydrologique des lagunes méditerranéennes
Jamais inondé
Temporaire
Semi-permanent
Permanent

Annexe 4 : Calendrier des réunions et des entretiens avec les gestionnaires.

DATE	Entretien et Réunion
11-mars	Réunion cadrage du stage
15-avr.	Réunion cadrage du stage
11-mai	Réunion cadrage du stage
21-juin	Réunion cadrage du stage
30-juin	Entretien pour l'étang de Salses Leucates (Julien Robert)
7-juil.	Entretien pour l'étang de Bagnas (Xavier Fortuny)
7-juil.	Entretien pour le secteur La Domitienne (Nina Schoen)
19-juil.	Entretien pour l'étang de Thau (Sonia Séjourné)
20-juil.	Entretien pour l'étang de Canet (Roland Mivière)
22-juil.	Entretien pour l'étang de Mauguio (Eve Le Pommelet)
22-juil.	Entretien pour les étangs Palavasiens (Sandrine Navarre)
22-juil.	Entretien pour Les Orpellières (Lucie Kerjean)
23-juil.	Entretien pour l'étang de La Palme (Angélique Masvidal)
27-juil.	Entretien pour l'étang de Bages-Sigean (Nicolas Manas)
28-juil.	Entretien pour les Exals (Camille Ferrer)
28-juil.	Entretien pour l'embouchure d'Argens (Kevin Bergeron et David HERITIER)
29-juil.	Entretien pour la Grande Maïre (Julien Azema)
3-août	Entretien pour la région Corse (Marie Garrido)
3-août	Entretien pour la Rade d'Hyères (Matthieu Lasceve et Marie-Claire Gomez)
4-août	Entretien pour la Camargue (Laetitia Poulet)
4-août	Entretien pour la Camargue Gardoise (Nicolas Bonton)
5-août	Réunion cadrage du stage
9-août	Réunion cadrage du stage