

Rapport d'études

Évaluation du potentiel repli des roselières littorales
d'Occitanie impactées par le risque de submersion marine



Elise GUIRAUD
2021



Évaluation du potentiel repli des roselières littorales d'Occitanie impactées par le risque de submersion marine

Photo page de garde : Roselière du Grand Salan, Grande Maïre (Portiragnes)



Liste des abréviations

BRGM : Bureau de Recherche Géologique et Minière

GIEC : Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat

MISEEVA : Marine Inundation hazard exposure and Social Economic and Environmental Vulnerability Assessment

MNT : Modèle Numérique de Terrain

ZHP : Zones Humides Potentielles

Lexique

Avifaune paludicole : espèces d'oiseaux inféodées à l'habitat roselière

Climax : état optimal d'équilibre écologique

Couche géologique affleurante : substratum visible

Espèces colonisatrices : ou pionnières, premières espèces colonisant un milieu

Hélophyte : plante se développant dans un sol gorgé d'eau

Hydromorphie : qualité d'un sol à montrer des marques physiques de saturation régulière en eau

Roselière : formation végétale de ceinture des zones d'eau libres ou de cours d'eau, composée d'hélophytes. Le terme « roselière » utilisé dans ce document désigne un écosystème quasiment monospécifique de roseau commun *Phragmites australis*.

Services écosystémiques : biens et services que les Hommes peuvent tirer directement ou indirectement des écosystèmes pour assurer leur bien-être

Surcote : élévation temporaire et locale du niveau de la mer au niveau des côtes littorales

Introduction

Le rapport de la 12^{ème} session du Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC) a permis de constater une élévation de 19 centimètres du niveau de la mer à l'échelle de la planète sur la période comprise entre 1901 et 2010 (GIEC 2013). La plaine littorale, bande de 15 km en contact avec le cordon littoral, de la région Occitanie n'est pas épargnée face à ce phénomène : l'adaptation des hypothèses du GIEC à ce territoire ont conduit à estimer une élévation du niveau de la mer de 35 centimètres à 1 mètre en 2100 (Hélène Rey-Valette 2012).

Les surcotes des tempêtes marines (Figure 1), événements météorologiques de plus en plus réguliers sur le littoral d'Occitanie (Figure 2), sont intensifiés du fait de la hauteur croissante du niveau de la mer. Cette situation, jointe à un déficit sédimentaire et à la présence d'ouvrages de stabilisation du littoral, est à l'origine du phénomène de submersion marine.

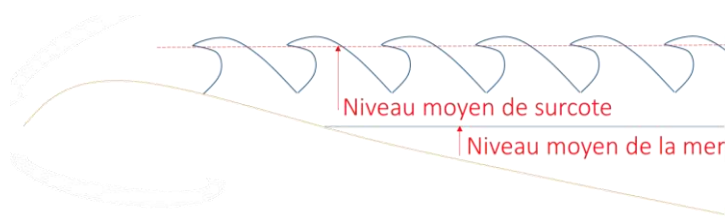


Figure 1 : Schéma explicatif du niveau de surcote de tempête marine.

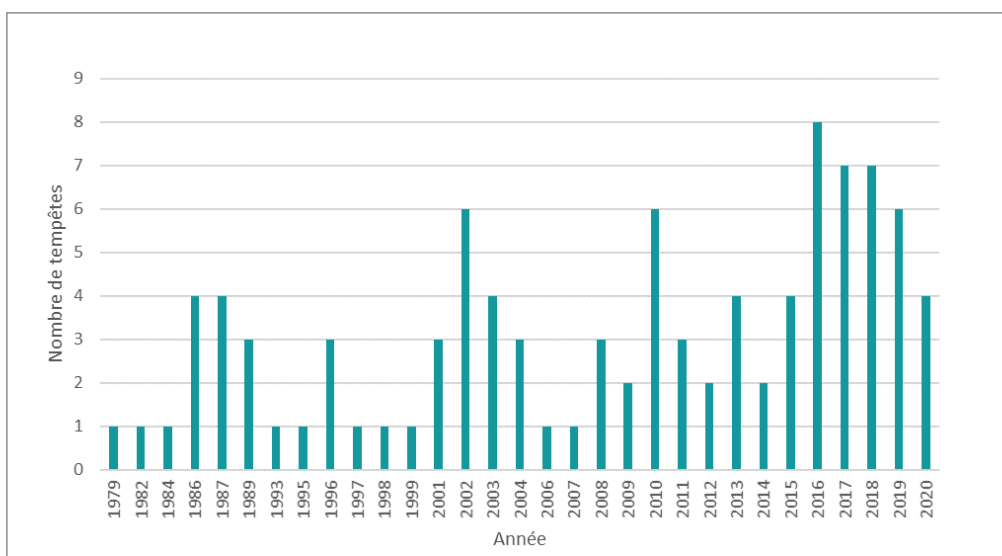


Figure 2 : Diagramme d'évolution du nombre de tempêtes sur la période 1979 - 2020 sur le littoral d'Occitanie. Source des données : (Languedoc-Roussillon 2007)

154 communes de la plaine littorale d'Occitanie accueillant plus de 1,2 millions d'habitants font de territoire un vecteur de multiples enjeux sociaux et économiques. Soumis à une importante menace de submersion marine, le projet MISEEVA porté par le BRGM a permis d'évaluer la vulnérabilité sociale, économique et environnementale de cette zone côtière face à cet aléa d'ici à 2100. Car si l'estimation globale des dommages liés à la submersion marine des territoires littoraux d'Occitanie en 2100 s'élève à près 1,3 milliards d'euros (Hélène Rey-Valette 2012), elle ne prend pas en compte les pertes liées aux enjeux environnementaux que représentent les plages, dunes, lagunes et zones humides (Serrand M 2013). Ce contexte de changement climatique pousse ainsi ce territoire à investir dans l'aménagement

de son littoral par le biais de techniques d'ingénierie civile appelées infrastructures grises : épis, digues, enrochements, dragage, etc. (O. DREAL 2015).

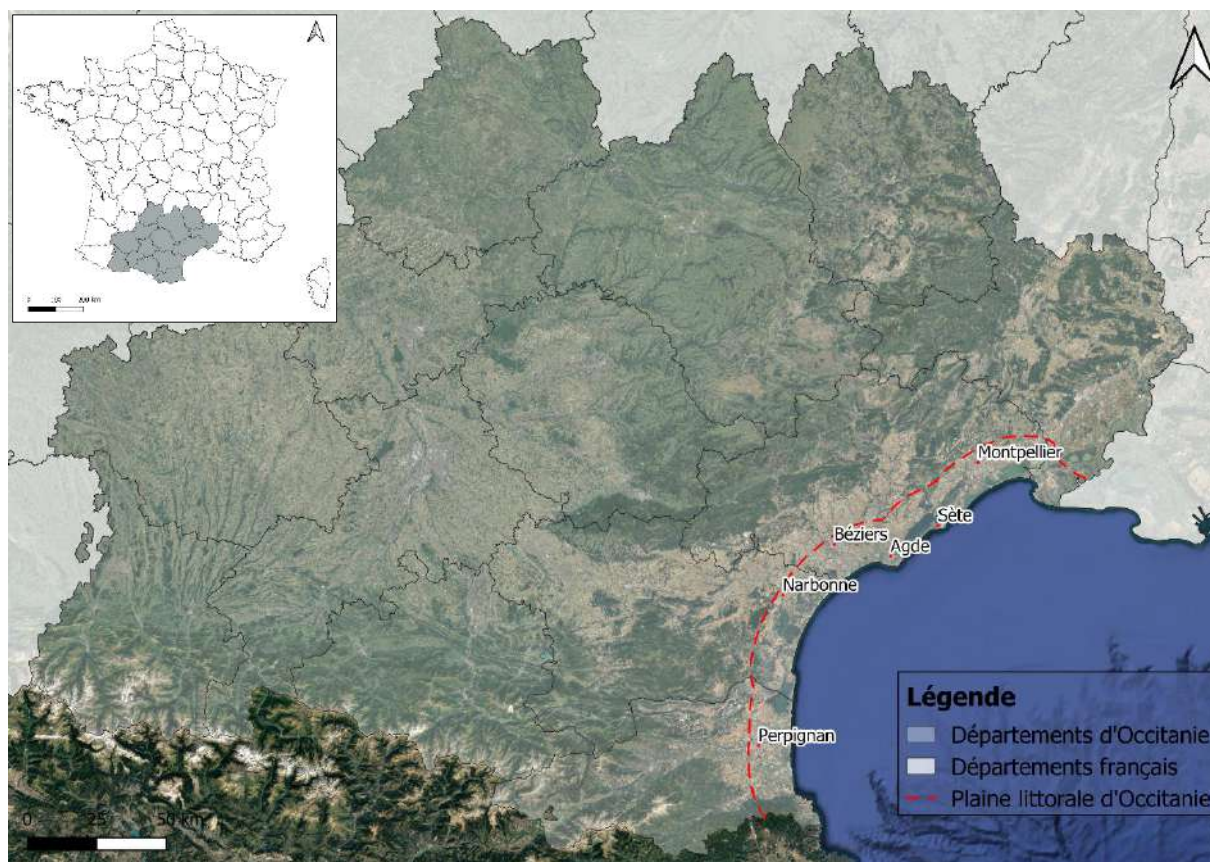


Figure 3 : Principales villes de la plaine littorale d'Occitanie. Source : Elise Guiraud

La tendance actuelle est de rechercher des méthodes d'adaptation face au changement climatique plutôt que de lutter contre, en favorisant l'utilisation de Solutions fondées sur la Nature et de processus naturels comme la mesure dite de « recul stratégique » du trait de côte et la préservation des zones humides telles que les roselières¹ à *Phragmites australis*.

Le recul stratégique est une méthode de prévention consistant à reculer les enjeux du littoral à une distance de la côte suffisante pour les protéger et permettre le maintien des plages et la réimplantation des zones humides. Aux nombreux services écosystémiques qu'elles fournissent, s'ajoute aux roselières le rôle d'habitat d'espèces protégées. Néanmoins, la succession naturelle progresse et entraîne la fermeture de ce type de biotope en un état optimal d'équilibre écologique appelé climax. Les sols favorables à leur colonisation naturelle étant lieux d'une anthropisation massive, la gestion de ces habitats est indispensable pour leur conservation. Divers programmes de restauration et de protection ont ainsi été mis en place pour lutter contre les multiples menaces auxquelles elles font face : c'est dans cette dynamique que s'inscrit le projet « Roselières littorales d'Occitanie » (Figure 4). Porté par l'ADENA, association gestionnaire de la Réserve naturelle nationale du Bagnas, ce projet d'envergure régionale d'une durée de 3 ans vise à définir une stratégie de conservation à long terme de l'ensemble de ces roselières selon 4 axes :



Figure 4 : Logo du projet Roselières littorales d'Occitanie.

¹ Le terme « roselière » utilisé dans ce document désigne un écosystème quasiment monospécifique de roseau commun *Phragmites australis*.

- **Axe 1** : Quel est le potentiel d'accueil pour l'avifaune paludicole ?
- **Axe 2** : Comment suivre efficacement l'évolution des roselières de façon harmonisée ?
- **Axe 3** : Comment envisager l'avenir des roselières face aux risques climatiques ?
- **Axe 4** : Comment informer et sensibiliser un large public aux enjeux de conservation ?

Ce rapport d'études s'inscrit dans le volet « submersion marine » de l'Axe 3 du projet dont l'objectif est de répondre à la menace actuelle de perte d'habitats en lien avec les conséquences du changement climatique et en fournissant des pistes de décisions d'adaptation des plans de gestion des roselières littorales d'Occitanie. La submersion marine donnera lieux à de nouveaux habitats, mais par leurs rôles de services écosystémiques et d'habitat d'espèces protégées, nous devons nous assurer de ne pas définitivement perdre les superficies de roselières déjà implantées. L'objectif est d'identifier les plus vulnérables d'entre elles face à cette menace et d'appliquer la méthode de recul stratégique à l'enjeu qu'elles représentent en analysant les secteurs de repli potentiels par le biais d'une méthode répliquable. A condition de disposer de données concernant la submersion marine, la construction du protocole fournit un cadre méthodologique à une démarche opérationnelle potentiellement utilisable sur des roselières non inclus au projet. Les résultats obtenus dans cette étude par l'application du protocole sont quant à eux rendus publiques en fin de projet et pourront potentiellement être utilisés par les gestionnaires en vue d'une phase de pré-travaux de projets d'aménagements.

Après avoir défini le contexte et les objectifs de l'étude, seront listées les données nécessaires à la réalisation et à l'application du protocole. Les résultats comprenant l'élaboration, puis l'application du protocole seront ensuite présentés. Une phase de terrain et une étude de l'occupation du sol des sites les plus vulnérables clôturera la partie technique de ce document. Finalement, la discussion permettra d'identifier les limites et les forces de cette étude afin d'interpréter la situation globale en matière de repli possible pour cet habitat à l'échelle de la région Occitanie.

Table des matières

Liste des abréviations	1
Lexique	1
Introduction	2
Table des matières	5
Table des figures	6
Table des tableaux	7
1. Contexte et objectifs	9
2. Matériel et méthodes	12
2.1. Données utilisées dans la création et l'application du protocole	12
1.1.1. Résultats de l'étude du BRGM	13
1.1.2. Autres données utilisées	15
2.2. Conditions stationnelles favorables à l'installation et au maintien d'une roselière	16
3. Résultats	17
3.1. Conditions stationnelles favorables à l'installation et au maintien des roselières littorales d'Occitanie	17
3.2. Construction du protocole d'évaluation des secteurs de repli	20
3.2.1. Étape 1 - Priorisation des roselières à risques	20
3.2.2. Étape 2 – Sélection des roselières favorables à la recherche des secteurs de repli	21
3.2.3. Étape 3 – Délimitation des zones favorables comme secteurs de repli	25
3.3. Application du protocole d'évaluation des secteurs de repli	30
3.3.1. Étape 1 – Priorisation des roselières à risques	30
3.3.2. Étape 2 – Sélection des roselières favorables à la recherche des secteurs de repli	35
3.3.3. Étape 3 – Délimitation des zones favorables comme secteurs de repli	37
3.4. Analyse de la situation actuelle sur les zones de repli potentiels	41
3.4.1. Prospection des zones identifiées comme favorables au potentiel repli	41
3.4.2. Occupation du sol	44
Discussion	46
Conclusion	48
Annexes	49
Annexe 1 – Protocole d'application de l'indice I12 « pression de l'artificialisation » de la boîte à outils RhoMéo	49
Annexe 2 – Mise en relief de la topographie correspondante aux niveaux NGF des 3 scénarios permanents	54
Annexe 3 – Cartographie du bâti et du réseau de transports des sites d'études	57
Annexe 4 – Cartographies de l'hydromorphie (zones humides potentielles) et du bâti des sites d'études	66

Annexe 5 – Cartographie de délimitation des zones humides potentielles selon l'altitude minimale de recherche des secteurs de repli	73
Annexe 6 – Cartographies des secteurs de repli potentiels	79
Annexe 7 – Cartographies intégrant le réseau hydrographique aux zones de délimitations de repli potentiels.....	82
Annexe 8 – Cartographies de l'occupation du sol des zones de repli potentiels.....	85
Bibliographie	88

Table des figures

Figure 1 : Schéma explicatif du niveau de surcote de tempête marine.....	2
Figure 2 : Diagramme d'évolution du nombre de tempêtes sur la période 1979 - 2020 sur le littoral d'Occitanie. Source des données : (Languedoc-Roussillon 2007)	2
Figure 3 : Principales villes de la plaine littorale d'Occitanie. Source : Elise Guiraud	3
Figure 4 : Logo du projet Roselières littorales d'Occitanie.....	3
Figure 5 : Représentation cartographique du périmètre d'étude du projet Roselières Littorales d'Occitanie.....	10
Figure 6 : Légende du schéma récapitulatif.	12
Figure 7 : Schéma récapitulatif de la méthode d'élaboration du protocole.	12
Figure 8 : Méjean (n°16), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière.	21
Figure 9 : Bagnas (n°10), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière.	22
Figure 10 : Ordinogramme général de la méthodologie employée pour construire la couche Zones potentielles humides – Milieux potentiellement humides de France. Source : Notice Milieux Potentiellement Humides.	23
Figure 11 : Cros Martin (n°20), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière et du potentiel d'accueil des zones humides.	24
Figure 12 : Sagnes d'Opoul (n°2), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière et du potentiel d'accueil des zones humides.	24
Figure 13 : Mise en relief des topographies correspondantes aux niveaux NGF des scénarios permanents : 0,4, 0,8 et 1,2 m NGF du site du Bagnas (n°10).	26
Figure 14 : Logigramme du protocole d'analyse du MNT.	27
Figure 15 : Illustration des résultats cartographiques de la méthodologie de la délimitation des zones favorables selon l'analyse du MNT.....	28
Figure 16 : Logigramme du protocole d'analyse du bâti et du réseau de transports.	29
Figure 17 : Illustration des résultats cartographiques obtenus par la méthodologie de la délimitation des zones favorables selon l'analyse du bâti et du réseau de transports.....	29
Figure 18 : Cartographie référençant la nature des submersions des 28 sites d'études lors du premier scénario de submersion.	30
Figure 19 : Représentation cartographique du résultats de sélection des roselières selon l'étude du critère du bâti et du réseau de transports.	36
Figure 20 : Représentation cartographique du résultats de sélection des roselières selon l'étude de l'hydromorphie.....	37
Figure 21 : Représentation cartographique du résultats de sélection des roselières selon l'étude du critère du MNT.	39

Figure 22 : Cartographie de la délimitation des zones de repli potentiels du site du Bagnas n°10.....	40
Figure 23 : Cartographie du réseau hydrographique intégré aux zones de repli potentiels du site du Bagnas n°10.....	41
Figure 24 : Emplacements des points GPS des prospections de terrain.....	42
Figure 25 : Présence de <i>Phragmites australis</i> dans la zone de repli identifiée du site de la Grande Maïre n°9.....	43
Figure 26 : Présence de <i>Phragmites australis</i> dans la zone de repli identifiée du site du Canet n°1....	43
Figure 27 : Présence de scirpes dans la zone de repli identifiée du site du Canet n°1.....	43
Figure 28 : Cours d'eau de l'Orb compris dans la zone de repli identifiée du site de la Grande Maïre n°9.....	43
Figure 29 : Travaux de constructions d'habitations dans la zone de repli identifiée du site de Saint Nazaire n°22.....	43
Figure 30 : Centrale photovoltaïque de Torreilles dans la zone de repli identifiée du site du Canet n°1.....	43
Figure 31 : Culture de lavandes dans la zone de repli identifiée de Saint Nazaire n°22.....	43

Table des tableaux

Tableau 1 : Liste des sites d'études du projet Roselières.....	9
Tableau 2 : Résultats de l'étude des scénarios de submersion marine sur les 28 sites du projet. Source : BRGM.....	14
Tableau 3 : Légende du tableau des résultats de scénarios de submersion marine.....	14
Tableau 4 : Sources des données exploitées en l'état.....	15
Tableau 5 : Sources et protocoles de traitements des données traitées.....	15
Tableau 6 : Légende la couche Zones potentielles humides - Milieux potentiellement humides de France.....	16
Tableau 7 : Résultats de l'étude de l'hydromorphie des roselières littorales d'Occitanie.....	17
Tableau 8 : Résultats de l'étude des sources d'alimentation en eau douce des roselières littorales d'Occitanie.....	19
Tableau 9 : Récapitulatif des sources d'alimentation en eau douce des roselières littorales d'Occitanie.....	19
Tableau 10 : Sélection de la valeur NGF choisie pour l'analyse du MNT et la délimitation des zones favorables.....	27
Tableau 11 : Résultats de simulation du premier scénario de submersion marine et surfaces impactées des roselières littorales d'Occitanie.....	31
Tableau 12 : Sélection de la période prioritaire pour la classification des roselières d'études.....	31
Tableau 13 : Roselières d'études triées selon la temporalité du scénario de submersion.....	32
Tableau 14 : Explication du mode de sélection selon le scénario permanent à la période 2030-2050 pour la classification des roselières d'études prioritaires.....	32
Tableau 15 : Sélection des 9 roselières littorales d'Occitanie considérées comme prioritaires face au risque de submersion marine.....	33
Tableau 16 : Explication du mode de sélection selon le scénario récurrent à la période 2030-2050 pour la classification des roselières d'études prioritaires.....	33
Tableau 17 : Sélection des 16 roselières littorales d'Occitanie considérées comme prioritaires face au risque de submersion marine.....	34

Tableau 18 : Résultats des calculs de pression d'artificialisation des 16 sites grâce à l'indice I12 de RhoMéO.	35
Tableau 19 : Sélection des roselières par l'analyse du bâti et des réseaux de transports dont l'environnement permet un repli de l'habitat.	36
Tableau 20 : Sélection des roselières par l'analyse de la couche Zones Humides Potentielles dont l'environnement permet un repli de l'habitat.	37
Tableau 21 : Détermination des altitudes minimales de prospection des secteurs de repli des roselières littorales prioritaires au risque de submersion marine.	38
Tableau 22 : Sélection des roselières par l'analyse du MNT dont l'environnement permet un repli de l'habitat.	38
Tableau 23 : Occupation du sol (territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels) des zones de repli potentiels de l'ensemble du secteur d'étude.	45

1. Contexte et objectifs

Le périmètre d'étude du projet Roselières s'étend sur le linéaire du littoral d'Occitanie, soit les départements des Pyrénées Orientales (66), de l'Aude (11), de l'Hérault (34) et du Gard (30). Sur ce linéaire de 230 km, le projet recense 28 sites (Tableau 1) : compte tenu d'une superficie inférieure à 1 ha, le site n°3 ne présente que quelques linéaires de roselières et ne sera donc pas retenu dans la suite de cette étude. La façade littorale d'Occitanie relie la frontière espagnole à la limite Ouest de la Camargue : 85 % de son linéaire, soit 190 km, est de nature sableuse composée de côtes basses à grandes plages, tandis que les 40 km restants composent une côte rocheuse (Kluszczewski 2020).

La répartition de ces roselières crée une continuité écologique entre les roselières espagnoles et celles de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur (Figure 5). Aux multiples rôles que remplissent ces zones humides, s'ajoute la fonction de trame turquoise particulièrement utilisée comme couloir de migration pour l'avifaune paludicole. Ce type de trame est défini comme un « espace de projet qui englobe la trame bleue et la partie de la trame verte en interaction fonctionnelle forte avec la trame bleue » (Agence de l'eau 2021). Jouant un rôle majeur dans la dynamique d'un territoire, cette trame turquoise appuie d'autant plus l'importance des services socio-économiques présents sur ce littoral.

Tableau 1 : Liste des sites d'études du projet Roselières.

n°	Nom site	Département
1	Canet - St-Nazaire	Pyrénées
2	Sagnes d'Opoul	Orientales (66)
4	Petit Castelou	Aude (11)
5	Pissevaches	
6	Capestang	Hérault (34)
7	La Matte	
8	Vendres	
9	Grande Maire	
10	Bagnas	
11	Castellas	
12	Prés du Bauge	
13	Grande Palude	
14	Vagaran-Boulas	
15	Estagnol	
16	Méjean	
17	Saint-Marcel	
18	Bentenac	
19	Marais de Plagnol	
20	Cros-Martin	Gard (30)
21	Pierre Fiche	
22	Saint Nazaire	
23	Benezet	
24	Grau du roi	
25	Tour Carbonniere	
26	Mahistre et Musette	
27	Canavérier	
28	Bouvau	
29	Gargattes	



Figure 5 : Représentation cartographique du périmètre d'étude du projet Roselières Littorales d'Occitanie.

Le *Phragmite australis* est une espèce résiliente capable de tolérer les pics estivaux de salinité de l'eau par phénomène d'évaporation et de concentration, dont les valeurs peuvent parfois excéder les 20 g/L (Sinnassamy J.M. 2001). Cette condition n'est pas optimale pour sa pérennité mais permet de concurrencer d'autres espèces colonisatrices en assurant son maintien face à des entrées ponctuelles d'eau salée et tant qu'un apport d'eau douce est parallèlement maintenu. En revanche, sa faiblesse réside dans son incapacité à résister à un apport en eau de concentration moyenne en sel de façon prolongée. Cette intolérance est une menace pour le maintien de ce milieu : un évènement de submersion marine est donc un contexte définitif et mortel pour la roselière.

Ce rapport se concentre uniquement sur les scénarios de submersion marine dits « instantanés » et non inertiels. C'est-à-dire que les remontées d'eau souterraines liées au biseau salé ne sont pas prises en compte dans la construction du protocole. En revanche, sont inclus au modèle les submersions marines qui impactent les apports en eau douce et qui influent indirectement sur la submersion du site.

L'**objectif** de cette étude est double : il s'agit de répondre à la menace actuelle de perte d'habitats en lien avec les conséquences du changement climatique et de fournir des pistes de décisions d'adaptation sur le long terme des plans de gestion des roselières littorales d'Occitanie. Plus précisément, cet objectif peut être ordonné selon les trois étapes suivantes :

- Prioriser les roselières littorales d'Occitanie selon leur vulnérabilité face à l'aléa submersion marine ;

- Construire un protocole dont la méthodologie soit répliquable sur des roselières non inclus au projet ;
- Identifier les secteurs de repli potentiels des plus vulnérables d'entre elles.

La prise en compte des risques de submersion marine et de l'évolution du trait de côte dans l'aménagement implique une recomposition spatiale via la méthode de recul stratégique. Impliqué dans une démarche de résilience du territoire, ce travail de recherche de secteurs potentiels de repli des roselières est une action anticipée car les travaux de génies écologiques impliquant un déplacement de tout un écosystème est un processus long, autant techniquement qu'administrativement.

2. Matériel et méthodes

2.1. Données utilisées dans la création et l'application du protocole

La construction et l'application du protocole sont basées sur des données et des logiciels libres de droits, car au-delà des résultats fournis, l'objectif est de proposer un cadre d'étude permettant d'appliquer la méthodologie sur d'autres territoires disposant de données concernant la submersion marine. Structuré selon l'organisation suivante (Figure 7), la conception du protocole requiert l'usage de nombreuses données : l'objectif de cette partie est de les inventorier pour faciliter la compréhension de la suite du travail ainsi que l'application de la méthode à des sites non inclus au projet.

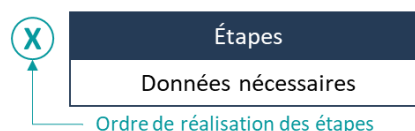


Figure 6 : Légende du schéma récapitulatif.

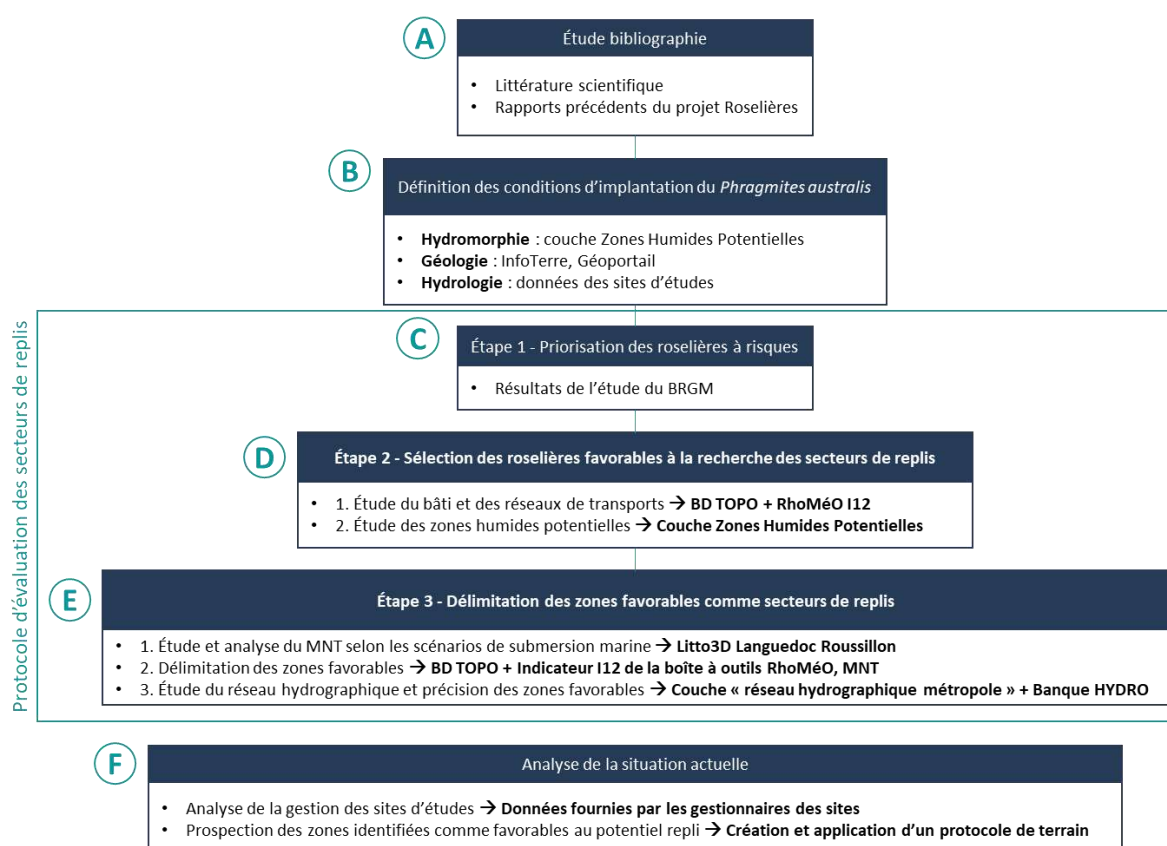


Figure 7 : Schéma récapitulatif de la méthode d'élaboration du protocole.

1.1.1. Résultats de l'étude du BRGM

L'étude du BRGM sur les simulations de scénarios de submersion marine est l'unique donnée non utilisable sur d'autres secteurs d'études car sa conception est appliquée aux 28 roselières du projet (Tableau 2). Ici, seront repris uniquement les résultats finaux de ce rapport, la méthodologie ainsi que les détails techniques des modèles appliqués sont repris au sein du rapport du BRGM² (E. Palvadeau 2021). Au total, 9 scénarios sont simulés selon les variables de temporalité et de caractère de la submersion (Tableau 3). Les pas de temps utilisés 2030-2050, 2100 et après 2100 sont les références utilisées pour les études concernant le changement climatique. Le projet MISEEVA ayant été construit à l'échéance 2030, le BRGM a souhaité continuer de travailler avec cette date. En revanche, le très faible laps de temps qui nous sépare de cette échéance conduit à la décaler à 2050 : les résultats fournis à partir des hypothèses pessimistes de 2030 fournissent les mêmes résultats pour 2050 et les modifications des paramètres ne sont pas suffisantes pour constater une différence flagrante sur 20 ans d'écart.

Les niveaux de submersion proposés « permanent », « récurrent » et « exceptionnel » sont définis de la façon suivante :

- « Submersion **permanente** : zone submergée 100% du temps par conditions météorologiques moyennes (temps calme) : pression, vent et vagues annuels moyens. Le niveau de la marée considéré est le niveau des plus basses mers astronomiques ;
- Submersion **récurrente** : zones submergées au moins une fois par an par conditions météorologiques moyennes (temps calme) : pression, vent et vagues annuels moyens. Le niveau de la marée considéré est le niveau des plus hautes mers astronomiques ;
- Submersion **exceptionnelle** : submersion enregistrée seulement lors des phénomènes de tempêtes. Basse pression atmosphérique et vents violents. La tempête de 1982 est utilisée comme référence. Le niveau de la marée est le niveau réel lors de cette tempête. » (Serrand M 2013)

² Rapport 70715 disponible sur <https://infoterre.brgm.fr> (date de publication prévue fin 2021)

Tableau 2 : Résultats de l'étude des scénarios de submersion marine sur les 28 sites du projet. Source : BRGM.

n°	Nom roselière	Surface (m ²)	Surface (ha)	Premier scénario submersion			Premier scénario permanent			Submersion en totalité
				N°	% surface totale	Surface (ha)	N°	% surface totale	Surface (ha)	N°
1	Canet - St-Nazaire	650 948	65.09	1 P	3%	1.95	1 P	3%	1.95	4 R
2	Sagnes d'Opoul	899 908	89.99	1 P	42%	37.80	1 P	42%	37.80	7 E
4	Petit Castelou	511 121	51.11	4 R	94%	48.05	5 P	96.5%	49.32	6 R
5	Pissevaches	202 327	20.23	3 P	35%	7.08	3 P	35%	7.08	5 P
6	Capestang	1 999 847	199.98	-	-	-	-	-	-	-
7	La Matte	299 134	29.91	8 E	93%	27.82	-	-	-	9 E
8	Vendres	2 353 207	235.32	4 R	100%	235.32	5 P	100%	235.32	4 R
9	Grande Maire	103 230	10.32	2 R	54%	5.57	3 P	68.50%	7.07	6 R
10	Bagnas	503 520	50.35	1 P	50%	25.18	1 P	95%	47.83	6 R
11	Castellas	33 104	3.31	1 P	12%	0.40	1 P	12%	0.40	6 R
12	Près du Baugé	152 513	15.25	3 P	95%	14.49	3 P	95%	14.49	4 R
13	Grande Palude	36 591	3.66	1 P	100%	3.66	1 P	100%	3.66	1 P
14	Vagaran-Boulas	159 405	15.94	3 P	100%	15.94	3 P	100%	15.94	3 P
15	Estagnol	384 525	38.45	8 E	100%	38.45	-	-	-	8 E
16	Méjean	613 298	61.33	1 P	13%	7.97	1 P	62%	38.02	5 P
17	Saint-Marcel	120 383	12.04	2 R	93.5%	11.26	3 P	95%	11.44	4 R
18	Bentenac	19 956	2.00	1 P	52%	1.04	1 P	52%	1.04	3 P
19	Marais de Plagnol	82 938	8.29	2 R	100%	8.29	3 P	100%	8.29	2 R
20	Cros-Martin	51 441	5.14	2 R	100%	5.14	3 P	100%	5.14	2 R
21	Pierre Fiche	82 245	8.22	1 P	100%	8.22	1 P	100%	8.22	1 P
22	Saint Nazaire	256 600	25.66	2 R	99.5%	25.53	3 P	100%	25.66	3 P
23	Benezet	88 827	8.88	2 R	98%	8.71	3 P	100% (99%)	8.88	3 P
24	Grau du roi	32 056	3.21	1 P	25%	0.80	1 P	25%	0.80	3 P
25	Tour Carbonniere	322 448	32.24	6 R	100%	32.24	-	-	-	7 E
26	Mahistre et Musette	243 083	24.31	3 P	29%	7.05	3 P	29%	7.05	4 R
27	Canavérier	1 582 005	158.20	2 R	100%	158.20	3 P	100%	158.20	2 R
28	Bouvau Scamandre	370 973	37.10	4 R	100%	37.10	5 P	100%	37.10	4 R
29	Gargattes	847 744	84.77	4 R	100%	84.77	5 P	100%	84.77	4 R

Tableau 3 : Légende du tableau des résultats de scénarios de submersion marine.

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF ■	③ + 0.8 m NGF ■	⑤ + 1.2 m NGF ■
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF ■	④ + 1.1 m NGF ■	⑥ + 1.5 m NGF ■
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF ■	⑧ + 2.40 m NGF ■	⑨ + 2.80 m NGF ■

Prenons l'exemple du site de Canet Saint Nazaire (n°1), la lecture du tableau permet d'obtenir les informations suivantes : la roselière est soumise à une submersion marine **permanente** à la période **2030-2050** sur **3%** de sa surface totale, correspondant à une élévation de **0,4 m NGF** du niveau de la mer. Le scénario de première submersion est donc le même que celui en condition de première submersion **permanente**. En revanche, la roselière sera submergée en **totalité** à l'horizon 2100 en scénario de submersion **récurrent** correspondant à une élévation de **1,1 m NGF** du niveau de la mer.

1.1.2. Autres données utilisées

L'ensemble des autres données nécessaires à l'application du protocole est librement accessible sur diverses plateformes. Pour faciliter la compréhension de la méthodologie, les données et leurs sources sont réparties selon la façon dont elles sont traitées, c'est-à-dire en différenciant celles exploitées en l'état et celles nécessitant un traitement.

Données exploitées en l'état

Ci-dessous (Tableau 4) les sources des données utilisées brutes et ne nécessitant aucun traitement :

Tableau 4 : Sources des données exploitées en l'état.

Étape	Donnée	Source
A	Bibliographie	Voir la partie "bibliographie" du rapport + sources permettant d'obtenir les informations à l'échelle du territoire d'étude
B	Hydromorphie	Couche "Zones potentielles humides" téléchargeable sur geo.data.gouv.fr
	Géologie	Visualiseur de cartes accessible sur le site InfoTerre + couche géologique téléchargeable sur Géoportail
	Hydrologie	Données fournies par les sites concernés + site de la Banque HYDRO
D	Bâti et réseaux de transports	BD TOPO (site Géoservices IGN) des départements concernées → télécharger les données " <i>bâtiments</i> ", " <i>constructions surfaciques</i> ", " <i>réservoirs</i> ", " <i>cimetières</i> ", " <i>terrains de sport</i> ", " <i>constructions ponctuelles</i> ", " <i>pylones</i> ", " <i>tronçons de route</i> " et " <i>tronçons de voie ferrée</i> "
	Hydromorphie	Couche "Zones potentielles humides" téléchargeable sur geo.data.gouv.fr
E	Hydrographie	Couche "Réseau hydrographique métropole" téléchargeable sur data.gouv.fr + site de la Banque HYDRO

Données travaillées

Ci-dessous (Tableau 5) les sources des données et les traitements qui leurs sont appliqués :

Tableau 5 : Sources et protocoles de traitements des données traitées.

Étape	Donnée	Source	Traitement
C	Roselières à risques	Rapport BRGM	Priorisation selon les résultats via un traitement Excel
E	MNT	Site du SHOM (donnée Litto3D Languedoc-Roussillon pour ce secteur d'étude)	Voir partie 3.2.2.1. Protocole d'évaluation des secteurs de replis → Phase 2.1 et 2.2
	Zones tampons bâti et réseaux de transports	BD TOPO + Indicateur I12 de la boîte à outils RhoMéo téléchargeable sur le site RhoMéo	Géotraitement "Tampon" sur QGIS à appliquer sur les données de la BD TOPO avec les distances fournies dans I12

1.2. Conditions stationnelles favorables à l'installation et au maintien d'une roselière

L'évaluation des conditions stationnelles favorables à l'installation et au maintien d'une roselière s'axe autour de trois thématiques : l'**hydromorphie**, la **géologie** et l'**hydrologie**. La définition de ces critères permettra dans un second de procéder à l'analyse et la comparaison de ceux identifiés sur les sites d'études.

Hydromorphie

L'hydromorphie est étudiée grâce à la couche raster « Zones potentielles humides – Milieux potentiellement humides de France » dont la légende est la suivante (Tableau 6). Le fonctionnement naturel de la roselière tend à favoriser son implantation sur les zones dont la probabilité de présence de milieux humides est forte à très forte, soit sur les indices de valeurs 2 et 3. Il est cependant nécessaire d'analyser cette composante sur les sites d'études pour dégager la tendance d'implantation locale des roselières.

Tableau 6 : Légende la couche Zones potentielles humides - Milieux potentiellement humides de France.

Légende	
Indice	Description
0	Milieux non humides
1	Milieux potentiellement humides - probabilité assez forte
2	Milieux potentiellement humides - probabilité forte
3	Milieux potentiellement humides - probabilité très forte
51	Plans d'eau
522	Estrans

Géologie

L'étude géologique du sol est dans la continuité de l'analyse de l'hydromorphie. On cherche à observer sur quels types de couches géologiques affleurantes les roselières littorales d'Occitanie ont tendance à s'implanter et à se développer pour préciser les conditions favorables à leurs pérennités.

Pour ce faire il convient de se procurer un support d'étude de carte géologique (interface Géoportail, couches disponibles sur Infoterre, cartes papiers, etc.) et de procéder au référencement de la nature des couches affleurantes sur lesquelles sont implantées les roselières étudiées.

Hydrologie

Le *Phragmites australis* est une herbacée héliophyte : ses rhizomes s'enracinent dans le substrat aquatique tandis que ses parties supérieures sont aériennes. Bien que cette espèce ait la capacité de résister à des périodes d'assecs estivaux plus ou moins prolongées, son caractère semi-aquatique requiert un sol inondé sur la majeure partie de l'année.

L'hydropériode est un facteur majeur de développement des roselières. Il convient donc d'analyser la nature des sources en eau douce sur chacun des sites d'études pour estimer la régularité et la quantité d'eau disponible au cours d'une année pour les roselières.

3. Résultats

3.1. Conditions stationnelles favorables à l'installation et au maintien des roselières littorales d'Occitanie

Hydromorphie et Géologie

L'analyse de l'hydromorphie sur les sites d'études mène aux résultats suivants (Tableau 7) :

Tableau 7 : Résultats de l'étude de l'hydromorphie des roselières littorales d'Occitanie.

n°	Nom du site	Classification Zone Humide potentielle			
		1	2	3	51
1	Étang du Canet				
2	Sagnes d'Opoul				
4	Marais du Narbonnais				
5	Étang Pissevaches				
6	Étang Capestang				
7	Étang de la Matte				
8	Étang de Vendres				
9	Grande Maïre				
10	Étang du Bagnas				
11	Salines du Castellàs				
12	Près du Baugé				
13	Grande Palude				
14	Salines de Villeneuve				
15	Estagnol				
16	Site du Méjean				
17	Saint Marcel				
18	Bentenac				
19	Marais de Plagnol				
20	Cros Martin				
21	Pierre Fiche				
22	Bénezet				
23	Saint Nazaire				
24	Espiguette				
25	Tour Carbonnière				
26	Mahistre et Musette				
27	Domaine de Canavérier				
28	Scamandre - Bouvau				
29	Marais des Gargattes				

21 d'entre elles sont en majorité implantées sur des milieux en classes de confiance 2 et 3, soit des probabilités respectivement fortes et très fortes de présence de milieux potentiellement humides.

Deux des 28 sites, le site des Sagnes d'Opoul (n°2) et de l'étang de Vendres (n°8) sont majoritairement implantés sur des plans d'eau. Cette situation s'explique par l'intervention humaine liée aux divers usages concernant l'étang de Vendres (chasse, tourisme, etc.) et par la nature du site concernant les Sagnes d'Opoul (topographie et proximité de la roselière avec l'étang de Leucate).

Deux autres incohérences sont aussi notables sur les sites de l'Espiguette (n°24) et du Scamandre (n°28) : les roselières sont en partie implantées sur la classe de confiance 1, soit une probabilité seulement « assez forte » de présence de milieu potentiellement humide. Ce constat est expliqué une nouvelle fois par l'intervention humaine dont la présence historique de canaux et d'ouvrages hydrauliques pour la maîtrise de l'eau douce sur le territoire entraîne sur certain secteur des apports plus conséquents ou plus longs, favorisant la colonisation par le *Phragmites australis*.

Nous pouvons dégager la conclusion suivante quant à l'étude du facteur hydromorphie :

Caractère hydromorphique favorable à l'installation et au maintien des roselières littorales d'Occitanie



Indices 2 et 3 : probabilités **forte** et **très forte** de présence de milieux potentiellement humides

Concernant l'étude des couches géologiques affleurantes, nous constatons que les résultats rejoignent ceux de l'étude hydromorphique. Remblais sableux, alluvions et limons argilo-sableux sont les principaux composants des sols sur lesquelles s'implantent les roselières littorales en Occitanie. Bien que diversifiées, ces couches géologiques affleurantes sont toutes témoins de sols chargés en eau. Ce résultat est cohérent car l'hydromorphie rend compte de la saturation en eau des sols. Elle est ainsi directement liée à la nature de la couche affleurante. Ce constat permet, pour la suite de l'étude, d'uniquement utiliser la couche de zones humides potentielles.

Les types de sources d'alimentation en eau douce des 28 sites sont référencés dans le tableau suivant (Tableau 8).

Résumées dans le tableau ci-dessous (Tableau 9), les diverses sources d'approvisionnement montrent que la nature des apports en eau douce diffère d'une roselière à l'autre. La majorité des sites est équipée de martellières, ouvrages hydrauliques permettant de gérer les débits d'eau entrants et sortants.

Cette étape permet de mettre en lumière que le *Phragmites australis* est une espèce peu exigeante en termes de qualité des eaux. En revanche il n'en est pas de même pour les invertébrés aquatiques, groupe majeur dans les relations trophiques d'une zone humide, ces derniers variant selon les concentrations d'éléments chimiques et de nutriments disponibles dans l'eau.

Tableau 9 : Récapitulatif des sources d'alimentation en eau douce des roselières littorales d'Occitanie.

Types de sources d'alimentation en eau douce
Cours d'eau temporaire
Cours d'eau permanent
Karstique
Canal d'irrigation
STEP (STation d'ÉPuration des eaux usées)
Ruissellement
Pompage

Tableau 8 : Résultats de l'étude des sources d'alimentation en eau douce des roselières littorales d'Occitanie.

n°	Nom du site	Source alimentation eau douce
1	Étang du Canet	Cours d'eau temporaire
2	Sagnes d'Opoul	Résurgences karstiques
4	Marais du Narbonnais	- Majoritaire par cours d'eau - Karstique très minoritaire
5	Étang Pissevaches	STEP
6	Étang Capeatang	Canaux d'irrigation
7	Étang de la Matte	STEP
8	Étang de Vendres	Canaux d'irrigation
9	Grande Maïre	STEP
10	Étang du Bagnas	- Canal du Midi - Ruissellement
11	Salines du Castellas	STEP
12	Prés du Baugé	Canaux d'irrigation
13	Grande Palude	- Canaux d'irrigation - Ruissellement
14	Salines de Villeneuve	Cours d'eau d'origine karstique
15	Estagnol	- Karstiques - Ruissellement
16	Site du Méjean	Canaux d'irrigation
17	Saint Marcel	Cours d'eau
18	Bentenac	STEP
19	Marais de Plagnol	Cours d'eau + ruissellements
20	Cros Martin	- Cours d'eau alimenté par STEP - Ruissellements - Pompage apporte eau provenant d'aquifères
21	Pierre Fiche	- Cours d'eau - Ruissellement
22	Bénezet	Cours d'eau temporaire
23	Saint Nazaire	Canal de Lunel
24	Espiguette	STEP
25	Tour Carbonnière	Canaux d'irrigation
26	Mahistre et Musette	Débordements du canal du Rhône à Sète
27	Domaine de Canavérier	Canaux d'irrigation
28	Scamandre - Bouvau	Cours d'eau permanent
29	Marais des Gargattes	Cours d'eau permanent

Conditions hydrologiques favorables à l'installation et au maintien des roselières littorales d'Occitanie



Source d'alimentation en **eau douce**

3.2. Construction du protocole d'évaluation des secteurs de repli

Ce protocole est réalisé en trois principales étapes :

- **Étape 1** : Priorisation des roselières les plus à risques
- **Étape 2** : Sélection des roselières favorables à la recherche des secteurs de repli
- **Étape 3** : Délimitation des zones favorables comme secteurs de repli

3.2.1. Étape 1 - Priorisation des roselières à risques

Dans notre cas, ce travail de priorisation des roselières à risques s'appuie sur le travail et les documents fournis par le BRGM (E. Palvadeau 2021). Le classement rend compte de la vulnérabilité des sites selon la menace de submersion marine et permet ainsi d'établir une priorisation des roselières à étudier pour le travail d'étude de repli potentiel de ces zones.

Trois scénarios sont modélisés par l'étude préalable du BRGM :

- **Premier** scénario de submersion : l'échéance à partir de laquelle le site sera pour la toute première fois touché par une submersion marine ;
- Scénario de submersion **permanent** : échéance à partir de laquelle le site sera concerné sur 100% du temps par les submersions marines ;
- Scénario de submersion **en totalité** : échéance à partir de laquelle le site sera touché sur 100% de sa surface.

La première étape de priorisation consiste à se concentrer uniquement sur les données issues du « Premier scénario de submersion ». Cela permet d'extraire les scénarios pour lesquels les sites seront pour la première fois concernés par la problématique de submersion. Parmi eux, sont considérés prioritaires les sites qui seront les premiers touchés dans le temps (2030-2050).

Après la temporalité, le second facteur concerne les types de submersions auxquelles font face les roselières, c'est-à-dire si le scénario est permanent, récurrent ou exceptionnel. Ainsi, un site touché de façon permanente est considéré comme prioritaire par rapport à ceux respectivement touchés par des scénarios récurrents et exceptionnels. Le pourcentage de surface impactée par le scénario de submersion permanent est simplement utilisé comme facteur de tri afin de classer les roselières considérées comme prioritaires. Effectivement, une submersion marine permanente sur une faible surface équivaut à une entrée d'eau salée sur toute l'unité hydraulique mais au plus une surface importante est impactée, au plus la perte de fonctionnalité sera grande et rapide.

Une fois effectuées, ces trois étapes permettent d'obtenir le classement des roselières à risques prioritaires dans le travail d'évaluation de leurs secteurs de repli.

Étape 1 - Priorisation des roselières à risques



Utilisation des résultats du **premier scénario de submersion** marine

1. Priorisation par **temporalité**
2. Priorisation par **type de submersion**
3. Tri de la sélection par **pourcentage de surface impactée**

3.2.2. Étape 2 – Sélection des roselières favorables à la recherche des secteurs de repli

Cette phase permet d'éliminer les roselières dont l'environnement ne permet pas de projeter l'implantation d'une zone de repli au regard d'une première analyse visuelle concernant la présence du bâti, du réseau de transport et de la présence de zones humides potentielles.

Étape 2 - Sélection des roselières favorables à la recherche de secteurs de repli

1. Étude du **bâti** et du **réseau de transports**
2. Étude des **zones humides potentielles**

Phase 2.1. Étude du bâti et du réseau de transports

L'étape consiste à créer des cartes comprenant le périmètre des roselières, la couche bâti et la couche réseau de transports de la BD TOPO. Ces cartes nous permettent de diviser les roselières à risques en deux catégories : celles dont le bâti permettrait leur recul, soit une absence de bâti, un bâti très épars ou « administrativement » plus simple à déplacer, et celles dont la concentration de bâti rend impossible le recul.

Cette évaluation permet de concrètement analyser l'environnement direct des roselières à risques pour évaluer la possibilité de recul de cet habitat. Par exemple, on constate que le bâti autour du site du Méjean (n°16) rend difficile voire impossible un projet de repli de la roselière (Figure 8).

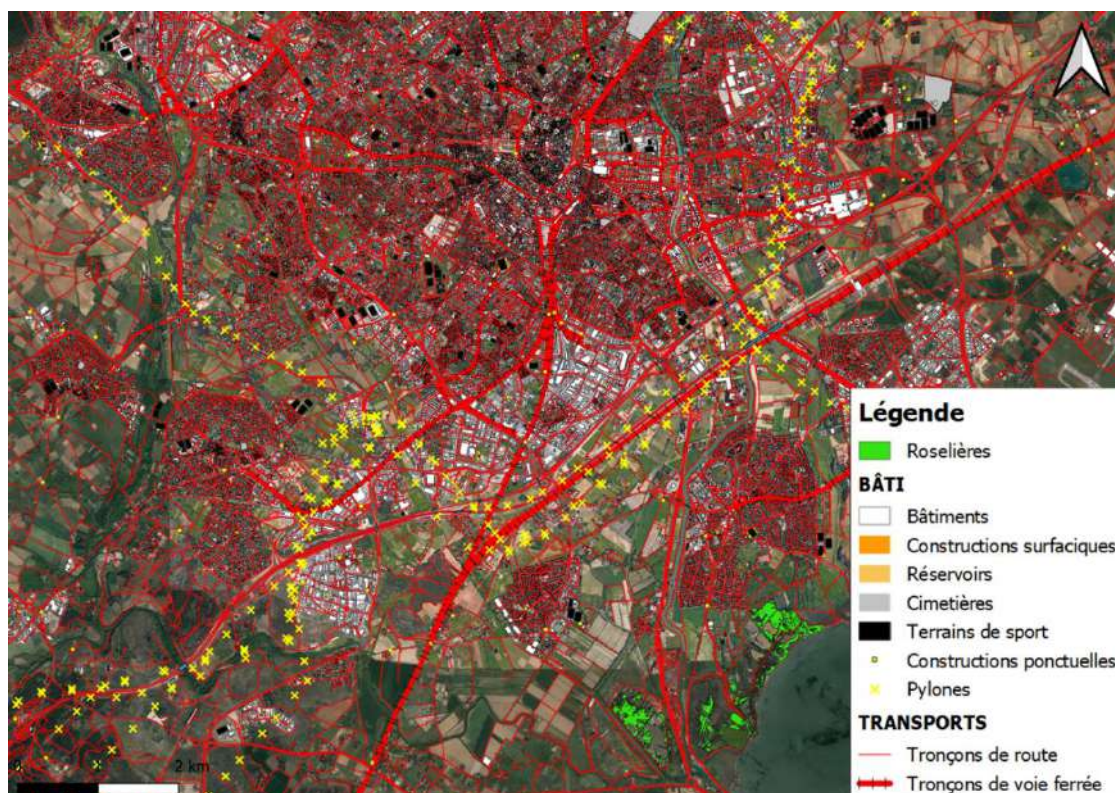


Figure 8 : Méjean (n°16), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière.

A l'inverse, on observe que le bâti plus diffus aux alentours du site du Bagnas (n°10) permettrait potentiellement de conceptualiser un recul de l'habitat roselière (Figure 9).

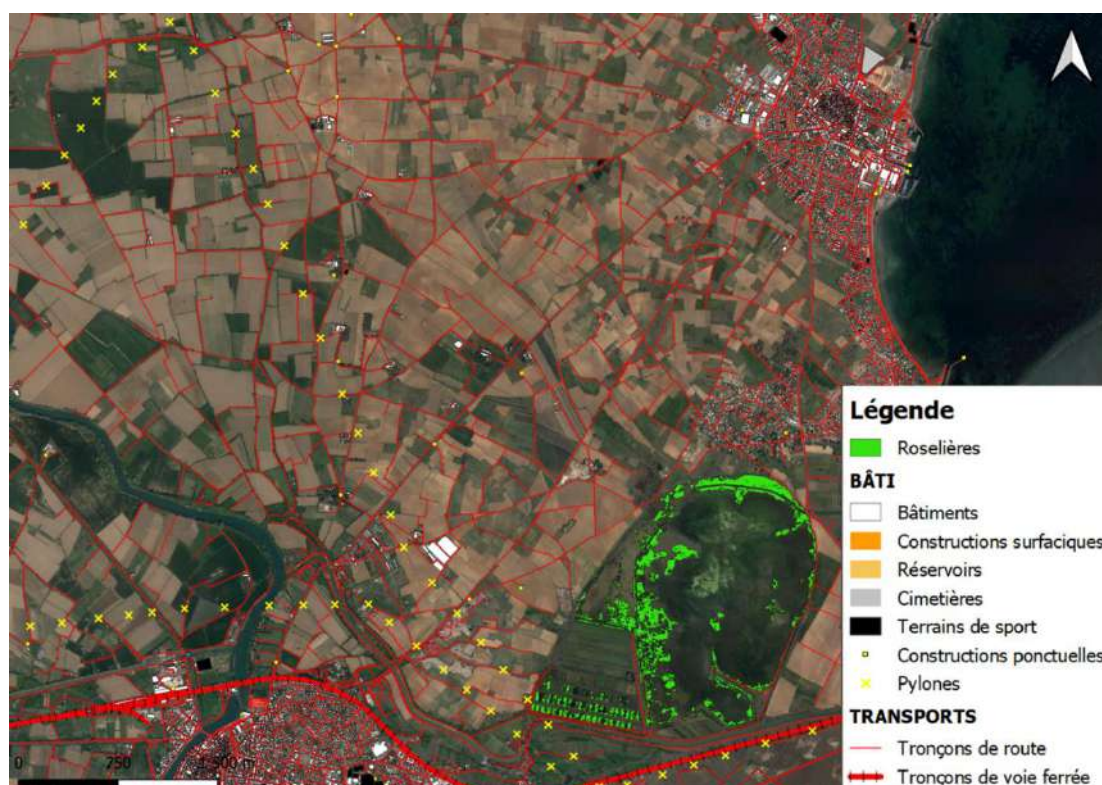


Figure 9 : Bagnas (n°10), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière.

L'étude individuelle de chacune des cartes créée mènera à la construction d'un outil, tel qu'un tableau par exemple, permettant la répartition des roselières selon le critère du bâti et du réseau de transports.

Développé par l'Agence de l'eau Rhône Méditerranée Corse, la boîte à outils RhoMéO, composée de 13 indicateurs opérationnels, a pour vocation d'évaluer l'état de conservation des zones humides et les pressions exercées sur ces milieux. En parallèle de la construction des cartes du bâti et du réseau de transports sera calculé le pourcentage de pression d'artificialisation des sites, grâce à l'indice I12 de RhoMéO (Annexe 1). Les valeurs obtenues apporteront un regard critique quant à la sélection des roselières. Cet outil informatif et descriptif permettra d'évaluer quantitativement l'artificialisation des environnements proches des sites.

Phase 2.2. Étude des zones humides potentielles

A partir des roselières retenues à l'issue de la Phase 1.1, une seconde sélection est réalisée selon la nature hydromorphique du sol, soit sa capacité d'accueil de zones humides. Cette dernière est modélisée par une cartographie construite selon la méthodologie suivante (Figure 10).

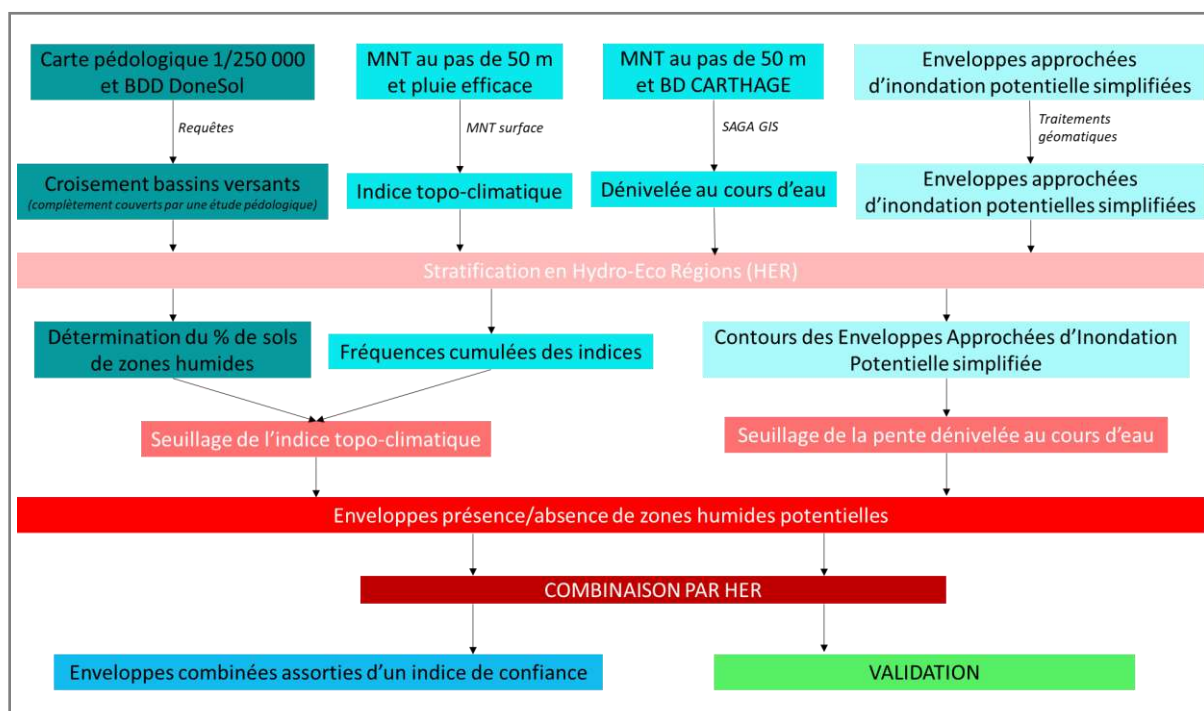


Figure 10 : Ordigramme général de la méthodologie employée pour construire la couche Zones potentielles humides – Milieux potentiellement humides de France. Source : Notice Milieux Potentiellement Humides.

L'observation des résultats sur les cartes permet de classer les roselières en deux catégories : celles dont l'hydromorphie ne permet pas le recul de cet habitat et celles permettant de réaliser une analyse approfondie du potentiel d'accueil d'une roselière.

Par exemple, nous constatons qu'un environnement semblable à celui du site du Cros Martin (n°20) (Figure 11) permettrait l'accueil d'un habitat caractéristique de zone humide telle que la roselière. En revanche, l'environnement alentour des Sagnes d'Opoul (n°2) (Figure 12) rend nettement compte que l'accueil d'un tel habitat est impossible.

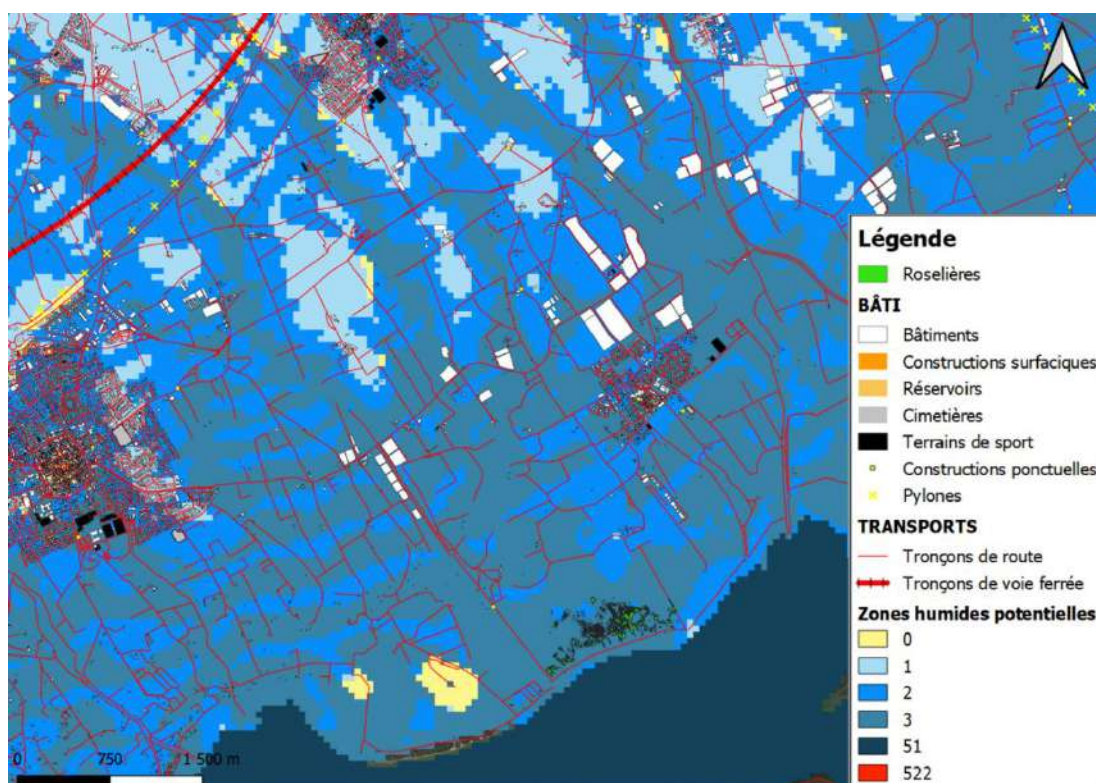


Figure 11 : Cros Martin (n°20), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière et du potentiel d'accueil des zones humides.

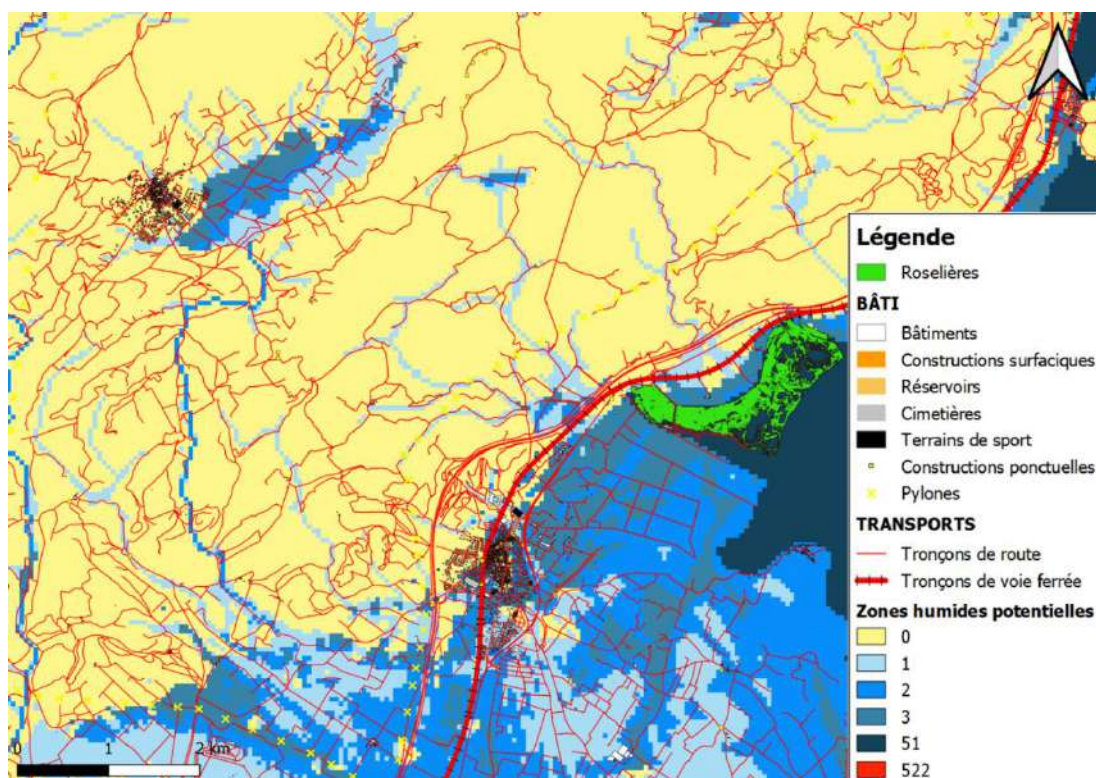


Figure 12 : Sagnes d'Opoul (n°2), représentation cartographique du bâti aux alentours directs de la roselière et du potentiel d'accueil des zones humides.

De la même façon que l'étape précédente concernant l'étude du bâti, l'analyse des cartes mènera à la construction d'un tableau, ou autre outil visuel, permettant la répartition des roselières selon le critère de zones humides potentielles.

3.2.3. Étape 3 – Délimitation des zones favorables comme secteurs de repli

Cette étape de travail s'appuie sur les roselières retenues à l'issue des précédents processus de sélection, c'est-à-dire sur les sites d'études dont les critères « bâti et réseaux de transports » et « zones humides potentielles » permettent d'envisager un recul de l'habitat.

Étape 3 – Délimitation des zones favorables comme secteurs de repli

1. Délimitation des zones favorables selon l'analyse du **MNT** et des **zones humides potentielles**
2. Précision de la délimitation des zones favorables selon l'analyse des **zones tampons du bâti** et du **réseau de transport**
3. Étude du **réseau hydrographique** et précision des zones favorables

Phase 3.1. Délimitation des zones favorables selon l'analyse du MNT et des zones humides potentielles

Cette étape consiste à interroger le MNT pour délimiter les zones favorables de repli potentiels. Le point de départ de notre problématique étant la submersion marine, nous devons délimiter une zone dont la topographie est suffisamment élevée pour ne pas être potentiellement la cible des premiers scénarios de submersion (Figure 13).

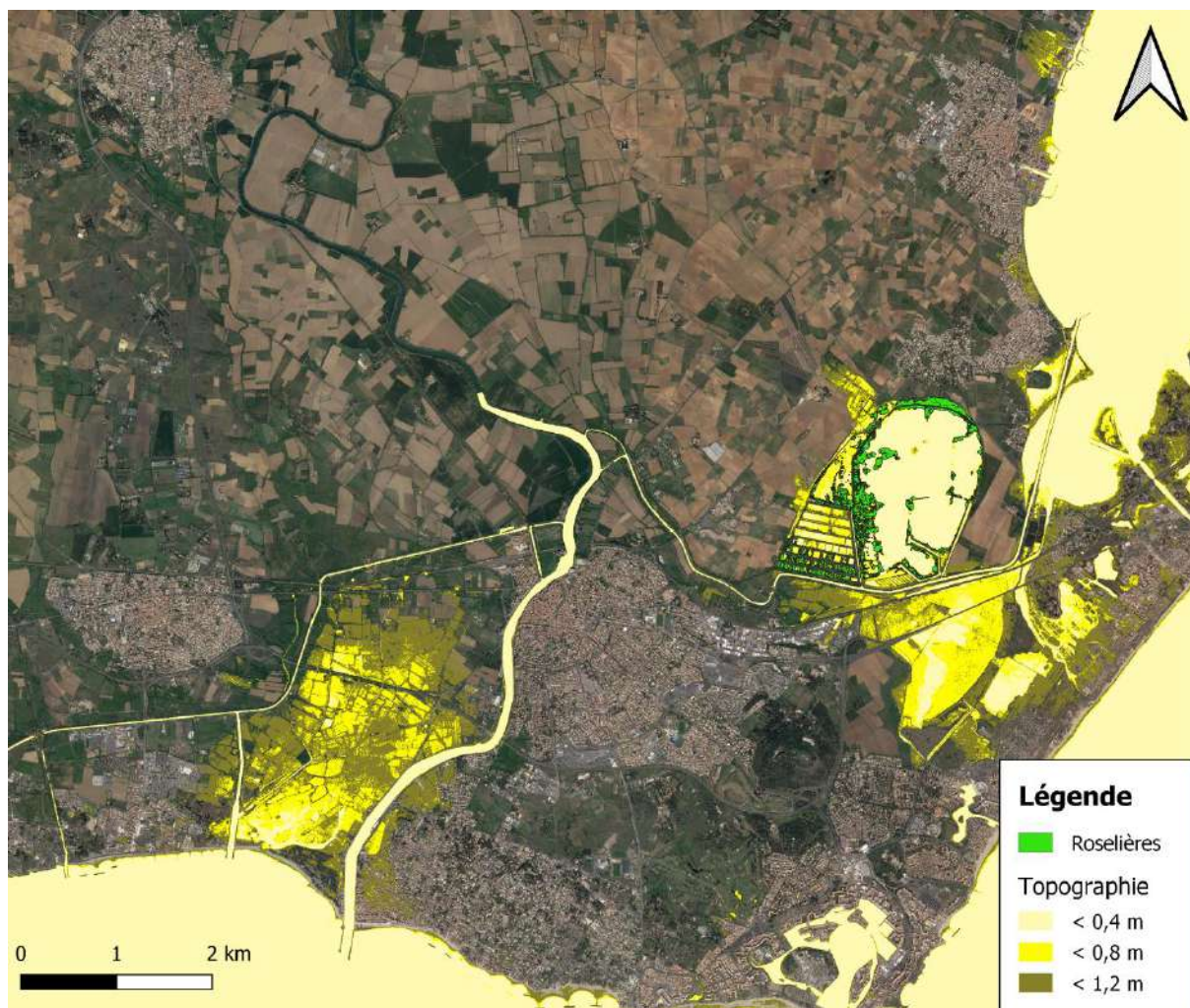


Figure 13 : Mise en relief des topographies correspondantes aux niveaux NGF des scénarios permanents : 0,4, 0,8 et 1,2 m NGF du site du Bagnas (n°10).

Les cartes de mise en relief de la topographie des autres sites d'études sont disponibles en Annexe 2.

L'échelle du MNT est construite en utilisant comme graduation le même pas que celui des niveaux NGF utilisés dans les différents scénarios de submersions. Dans notre cas, le pas utilisé est de 40 cm : c'est cette valeur qui servira ainsi à la construction de l'échelle du MNT.

Le MNT est analysé de la façon suivante (Figure 14) : pour chaque site d'étude on recherche la hauteur maximum comprise dans le périmètre de la roselière (étapes 1 et 2), à laquelle on ajoute la valeur du niveau NGF correspondant à un scénario de submersion assez éloigné dans le temps (étape 3). Ce calcul permet par la suite d'identifier les zones alentour dont l'altitude est supérieure ou égale à cette

valeur (étape 4). Il est ainsi possible de délimiter une zone comprenant les secteurs de repli potentiels selon la topographie alentour du site (étape 5).

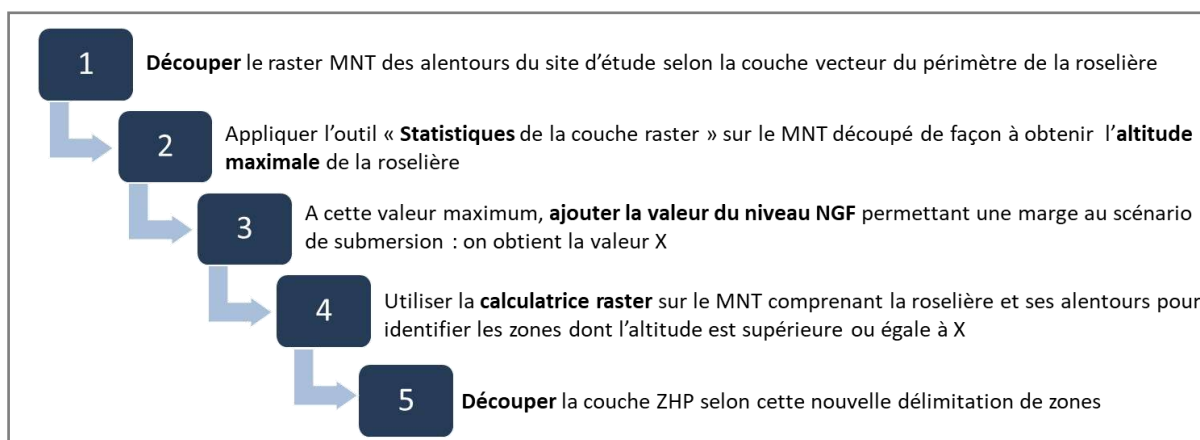


Figure 14 : Logigramme du protocole d'analyse du MNT.

Concernant l'étape 3, c'est le scénario de submersion marine récurrent à l'horizon 2100 qui est utilisé dans le cas de cette étude, soit une valeur NGF de 1,1 m (Tableau 10).

Tableau 10 : Sélection de la valeur NGF choisie pour l'analyse du MNT et la délimitation des zones favorables.

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF 	③ + 0.8 m NGF 	⑤ + 1.2 m NGF 
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF 	④ + 1.1 m NGF 	⑥ + 1.5 m NGF 
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF 	⑧ + 2.40 m NGF 	⑨ + 2.80 m NGF 

Cette hauteur de marge permet d'anticiper les conséquences de la submersion marine et d'intégrer le principe de précaution vis-à-vis de l'inertie à la mise en place des travaux de repli, de façon que l'application de cette stratégie de repli soit la plus pérenne possible. Cela signifie que les secteurs de recherches de chaque site d'étude sont délimités par les zones dont l'altitude est supérieure à l'élévation la plus haute de la roselière à laquelle on ajoute la valeur de 1,1 m pour répondre aux conditions du scénario récurrent à l'horizon 2100.

Les résultats par étapes de la méthodologie de délimitation des zones favorables au repli stratégique par l'analyse du MNT sont illustrés de la façon suivante (Figure 15) :

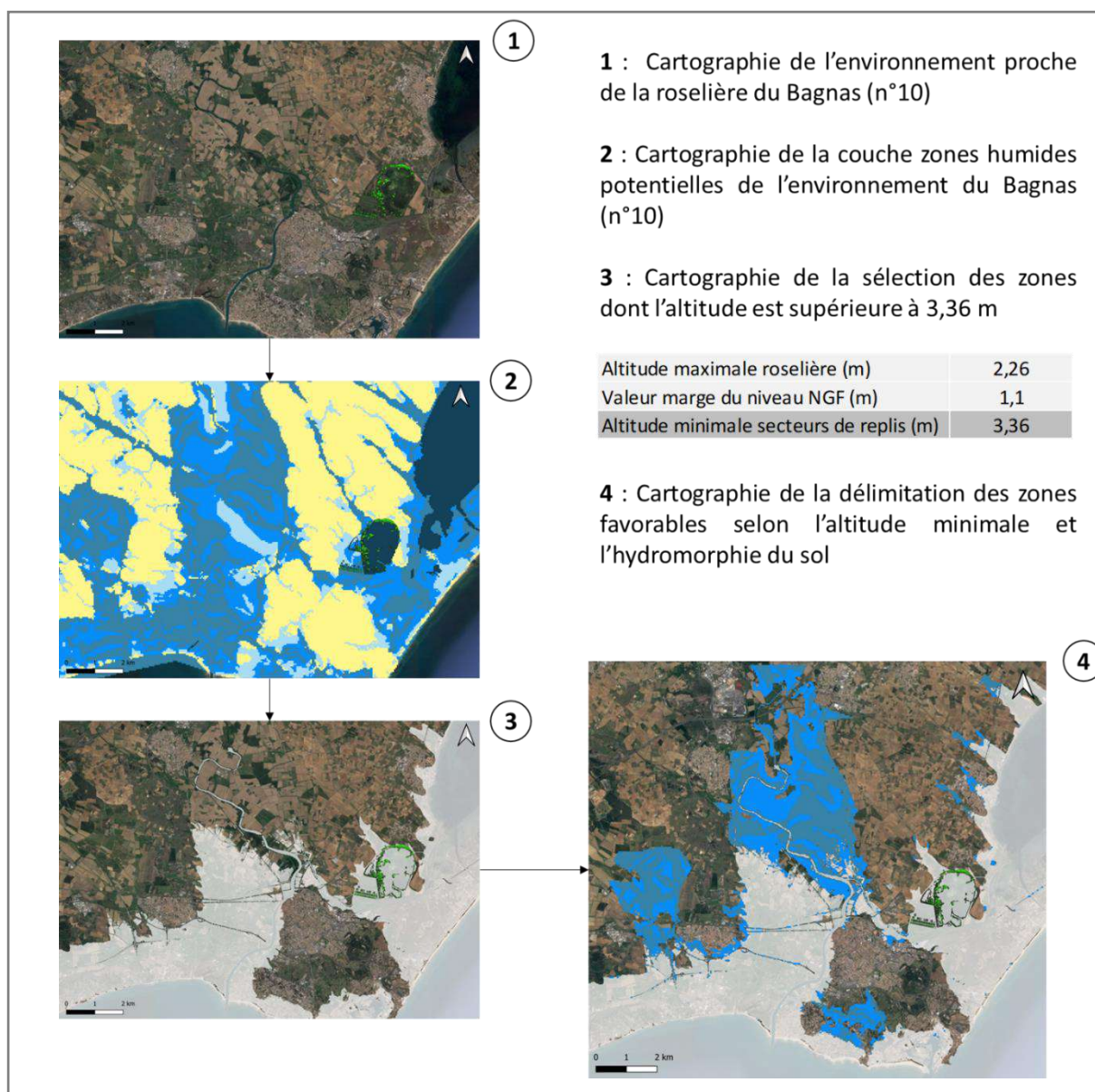


Figure 15 : Illustration des résultats cartographiques de la méthodologie de la délimitation des zones favorables selon l'analyse du MNT.

Phase 3.2. Précision de la délimitation des zones favorables selon l'analyse des zones tampons du bâti et du réseau de transport

Cette étape consiste à préciser la précédente délimitation des zones favorables au repli potentiels déterminée selon le MNT, en analysant le bâti et le réseau de transports (Figure 16). A chacune de ces couche est attribuée une zone tampon dont la valeur, en mètres, est référencée dans l'indice I12 (Annexe 1).

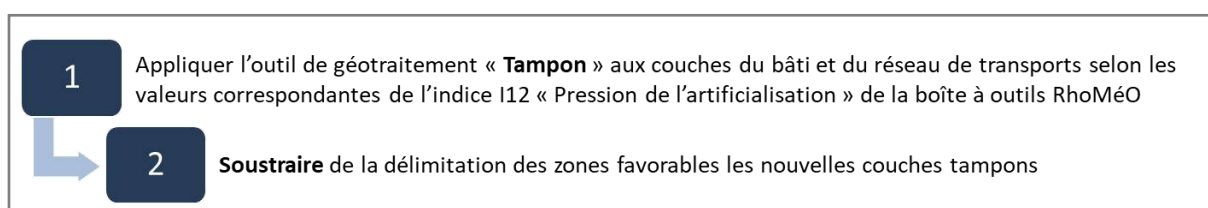


Figure 16 : Logigramme du protocole d'analyse du bâti et du réseau de transports.

L'utilisation du résultat cartographique de l'étape utilisé comme couche source pour la découpe des couches des zones tampons du bâti et du réseau de transports permet d'obtenir le résultat suivant (Figure 17) :

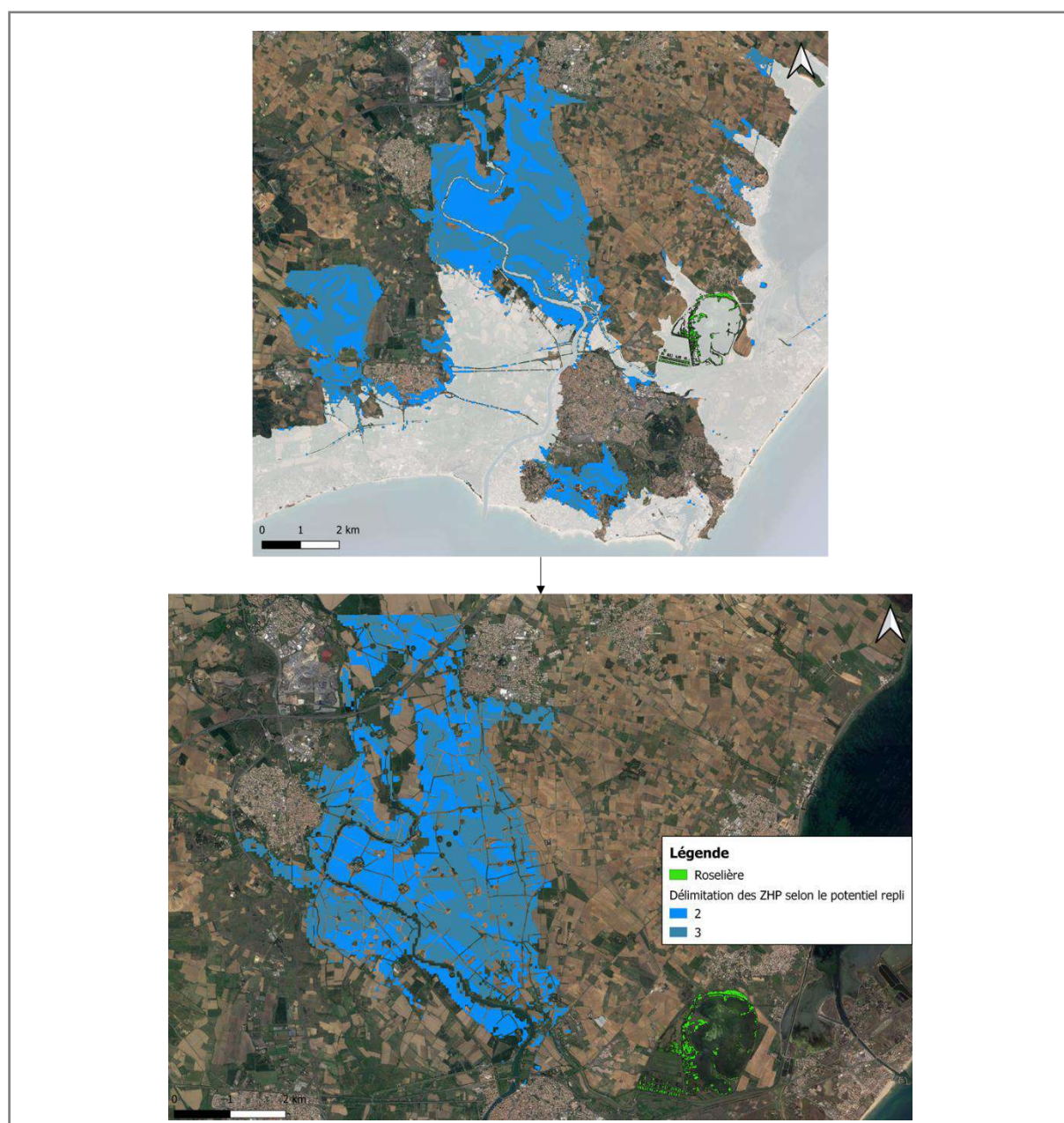


Figure 17 : Illustration des résultats cartographiques obtenus par la méthodologie de la délimitation des zones favorables selon l'analyse du bâti et du réseau de transports.

Phase 3.3. Étude du réseau hydrographique et précision des zones favorables.

Le maintien d'une roselière dépend de l'hydrologie du site : le développement d'un tel habitat n'est ainsi permis que si l'apport en eau douce est suffisant. La démarche de recherche de sites potentiellement viables doit ainsi inclure l'analyse de l'hydrographie de façon à cibler les zones à proximité de cours d'eau ou de réserves d'eau douces.

Ce travail permet d'affiner le précédent travail de délimitation des zones favorables au repli stratégiques des roselières en intégrant à la cartographie le réseau hydrographique de l'environnement proche des sites d'études.

3.3. Application du protocole d'évaluation des secteurs de repli

3.3.1. Étape 1 – Priorisation des roselières à risques

En s'appuyant sur les résultats du premier scénario de submersion de la roselière (Tableau 11 et Figure 18), la méthode de priorisation des roselières à risques est appliquée.

Au total, ce sont 16 sites sur 28 qui sont classés dans les catégories des scénarios 1P et 2R. Cela représente 57% des sites qui perdront en fonctionnalité d'ici 2050 : on priorise donc ces sites à cause du facteur temps. Assimilés en pourcentage de perte de phragmitaie pure en dehors des zones d'eau libre, ces 57% de déficit de sites reviennent à une perte de 515,71 ha, soit 40% de la superficie totale des roselières du projet.

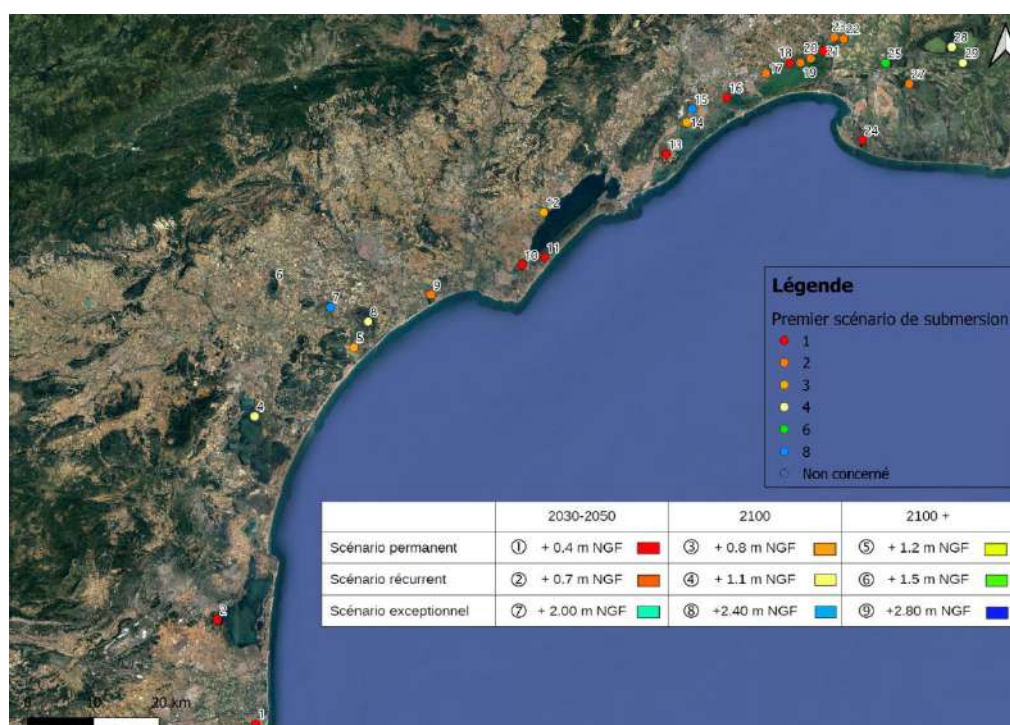


Figure 18 : Cartographie référençant la nature des submersions des 28 sites d'études lors du premier scénario de submersion.

Tableau 11 : Résultats de simulation du premier scénario de submersion marine et surfaces impactées des roselières littorales d'Occitanie.

Premier scénario submersion					
n°	Nom roselière	Surface (ha)	N°	% surface totale	Surface (ha)
1	Canet - St-Nazaire	65.09	1 P	3%	1.95
2	Sagnes d'Opoul	89.99	1 P	42%	37.80
4	Petit Castelou	51.11	4 R	94%	48.05
5	Pissevaches	20.23	3 P	35%	7.08
6	Capestang	199.98	-	-	-
7	La Matte	29.91	8 E	93%	27.82
8	Vendres	235.32	4 R	100%	235.32
9	Grande Maire	10.32	2 R	54%	5.57
10	Bagnas	50.35	1 P	50%	25.18
11	Castellas	3.31	1 P	12%	0.40
12	Prés du Baugé	15.25	3 P	95%	14.49
13	Grande Palude	3.66	1 P	100%	3.66
14	Vagaran-Boulas	15.94	3 P	100%	15.94
15	Estagnol	38.45	8 E	100%	38.45
16	Méjean	61.33	1 P	13%	7.97
17	Saint-Marcel	12.04	2 R	93.5%	11.26
18	Bentenac	2.00	1 P	52%	1.04
19	Marais de Plagnol	8.29	2 R	100%	8.29
20	Cros-Martin	5.14	2 R	100%	5.14
21	Pierre Fiche	8.22	1 P	100%	8.22
22	Saint Nazaire	25.66	2 R	99.5%	25.53
23	Benezet	8.88	2 R	98%	8.71
24	Grau du roi	3.21	1 P	25%	0.80
25	Tour Carbonniere	32.24	6 R	100%	32.24
26	Mahistre	24.31	3 P	29%	7.05
27	Canavérier	158.20	2 R	100%	158.20
28	Bouvau Scamandre	37.10	4 R	100%	37.10
29	Gargattes	84.77	4 R	100%	84.77

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF 	③ + 0.8 m NGF 	⑤ + 1.2 m NGF 
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF 	④ + 1.1 m NGF 	⑥ + 1.5 m NGF 
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF 	⑧ + 2.40 m NGF 	⑨ + 2.80 m NGF 

Ces résultats sont ensuite priorisés par temporalité, cela signifie que parmi les 3 périodes chronologiques modélisées : 2030-2050, 2100 et après 2100, nous classons prioritaires les premiers sites d'études touchés par un scénario de submersion dans la période la plus proche 2030-2050 (Tableau 12) de façon à obtenir le classement suivant (Tableau 13).

Tableau 12 : Sélection de la période prioritaire pour la classification des roselières d'études.

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF 	③ + 0.8 m NGF 	⑤ + 1.2 m NGF 
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF 	④ + 1.1 m NGF 	⑥ + 1.5 m NGF 
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF 	⑧ + 2.40 m NGF 	⑨ + 2.80 m NGF 

Tableau 13 : Roselières d'études triées selon la temporalité du scénario de submersion.

Premier scenario submersion						
n°	Nom roselière	Surface (m ²)	Surface (ha)	N°	% surface totale	Surface (ha)
1	Canet - St-Nazaire	650 948	65.09	1 P	3%	1.95
2	Sagnes d'Opoul	899 908	89.99	1 P	42%	37.80
9	Grande Maire	103 230	10.32	2 R	54%	5.57
10	Bagnas	503 520	50.35	1 P	50%	25.18
11	Castellas	33 104	3.31	1 P	12%	0.40
13	Grande Palude	36 591	3.66	1 P	100%	3.66
16	Méjean	613 298	61.33	1 P	13%	7.97
17	Saint-Marcel	120 383	12.04	2 R	93.5%	11.26
18	Bentenac	19 956	2.00	1 P	52%	1.04
19	Marais de Plagnol	82 938	8.29	2 R	100%	8.29
20	Cros-Martin	51 441	5.14	2 R	100%	5.14
21	Pierre Fiche	82 245	8.22	1 P	100%	8.22
22	Saint Nazaire	256 600	25.66	2 R	99.5%	25.53
23	Benezet	88 827	8.88	2 R	98%	8.71
24	Grau du roi	32 056	3.21	1 P	25%	0.80
27	Canavérier	1 582 005	158.20	2 R	100%	158.20

La seconde étape consiste à sélectionner les roselières touchées par un scénario de submersion marine permanent en 2030-2050 (Tableau 14) lors de d'un premier cas de submersion. La troisième étape de priorisation nous permet d'ordonner ces sites par ordre décroissant de superficie touchée en obtenant le classement suivant de 9 roselières prioritaires face à la problématique de submersion marine (Tableau 15).

Tableau 14 : Explication du mode de sélection selon le scénario permanent à la période 2030-2050 pour la classification des roselières d'études prioritaires.

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF 	③ + 0.8 m NGF 	⑤ + 1.2 m NGF 
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF 	④ + 1.1 m NGF 	⑥ + 1.5 m NGF 
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF 	⑧ + 2.40 m NGF 	⑨ + 2.80 m NGF 

Tableau 15 : Sélection des 9 roselières littorales d'Occitanie considérées comme prioritaires face au risque de submersion marine.

Premier scénario de submersion						
n°	Nom roselière	Surface (m ²)	Surface (ha)	N°	% surface totale	Surface (ha)
21	Pierre Fiche	82 245	8.22	1 P	100%	8.22
13	Grande Palude	36 591	3.66	1 P	100%	3.66
18	Bentenac	19 956	2.00	1 P	52%	1.04
10	Bagnas	503 520	50.35	1 P	50%	25.18
2	Sagnes d'Opoul	899 908	89.99	1 P	42%	37.80
24	Grau du roi	32 056	3.21	1 P	25%	0.80
16	Méjean	613 298	61.33	1 P	13%	7.97
11	Castellas	33 104	3.31	1 P	12%	0.40
1	Canet - St-Nazaire	650 948	65.09	1 P	3%	1.95
Superficie totale 1P touchée (ha)						87.01

Nous étendons cette sélection aux roselières touchées par un scénario de submersion récurrent sur la période 2030-2050 (Tableau 16) que nous classons aussi selon le pourcentage décroissant de surface touchée (Tableau 17).

Tableau 16 : Explication du mode de sélection selon le scénario récurrent à la période 2030-2050 pour la classification des roselières d'études prioritaires

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF 	③ + 0.8 m NGF 	⑤ + 1.2 m NGF 
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF 	④ + 1.1 m NGF 	⑥ + 1.5 m NGF 
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF 	⑧ + 2.40 m NGF 	⑨ + 2.80 m NGF 

Tableau 17 : Sélection des 16 roselières littorales d'Occitanie considérées comme prioritaires face au risque de submersion marine.

Premier scénario de submersion						
n°	Nom roselière	Surface (m ²)	Surface (ha)	N°	% surface totale	Surface (ha)
21	Pierre Fiche	82 245	8.22	1 P	100%	8.22
13	Grande Palude	36 591	3.66	1 P	100%	3.66
18	Bentenac	19 956	2.00	1 P	52%	1.04
10	Bagnas	503 520	50.35	1 P	50%	25.18
2	Sagnes d'Opoul	899 908	89.99	1 P	42%	37.80
24	Grau du roi	32 056	3.21	1 P	25%	0.80
16	Méjean	613 298	61.33	1 P	13%	7.97
11	Castellas	33 104	3.31	1 P	12%	0.40
1	Canet - St-Nazaire	650 948	65.09	1 P	3%	1.95
Superficie totale 1P touchée (ha)						87.01
27	Canavérier	1 582 005	158.20	2 R	100%	158.20
19	Marais de Plagnol	82 938	8.29	2 R	100%	8.29
20	Cros-Martin	51 441	5.14	2 R	100%	5.14
22	Saint Nazaire	256 600	25.66	2 R	99.5%	25.53
23	Benezet	88 827	8.88	2 R	98%	8.71
17	Saint-Marcel	120 383	12.04	2 R	93.5%	11.26
9	Grande Maire	103 230	10.32	2 R	54%	5.57
Superficie totale 2R touchée (ha)						222.71
Superficie totale touchée (ha)						309.72

3.3.2. Étape 2 – Sélection des roselières favorables à la recherche des secteurs de repli

Phase 2.1. Étude du bâti et du réseau de transports

Préalablement à la sélection des roselières selon le bâti et le réseau de transports, est calculée la pression d'artificialisation des sites prioritaires selon l'indice I12 de RhoMéo (Tableau 18). Ces résultats sont à titres indicatifs et n'interviennent pas dans la sélection des sites : elles permettent d'indiquer qu'au plus cette valeur est élevée et au plus la recherche des secteurs de repli va être compliquée.

Tableau 18 : Résultats des calculs de pression d'artificialisation des 16 sites grâce à l'indice I12 de RhoMéo.

Site	Pression d'artificialisation RhoMéo I12 (%)
Etang de l'Or (n°17 à n°23)	42.49
13. Grande Palude	37.84
10. Bagnas	56.54
2. Sagnes d'Opoul	30.41
24. Grau du roi	28.51
16. Mejean	45.55
11. Castellás	23.65
1. Canet	53.73
27. Canavériér	15.68
9. Grande Maire	44.50

On observe que pour des pressions d'artificialisation élevées (exemple : Bagnas n°10), des secteurs de repli sont néanmoins identifiés par traitement cartographique.

L'ensemble des cartes permettant la justification de cette sélection est disponible en Annexe 3.

Bât et réseau de transports	
Recul impossible	Recul possible
16. Méjean	21. Pierre Fiche
11. Castellas	13. Grande Palude
	18. Bentezac
	10. Bagnas
	2. Sagnes d'Opoul
	24. Grau du Roi
	1. Canet
	27. Canavérier
	19. Marais de Plagnol
	20. Cros Martin
	22. Saint Nazaire
	23. Benezet
	17. Saint Marcel
	9. Grande Maïre



Figure 19 : Représentation cartographique du résultats de sélection des roselières selon l'étude du critère du bâti et du réseau de transports.

Phase 2.2. Étude des zones humides potentielles

L'application de l'étude de l'hydromorphie du sol par le biais de la couche zones humides potentielles permet d'obtenir le classement suivant (Tableau 20).

L'ensemble des cartes permettant la justification de cette sélection est disponible en Annexe 4.

Tableau 20 : Sélection des roselières par l'analyse de la couche Zones Humides Potentielles dont l'environnement permet un repli de l'habitat.

Zones humides potentielles	
Recul impossible	Recul possible
2. Sagnes d'Opoul	21. Pierre Fiche
	13. Grande Palude
	18. Bentenac
	10. Bagnas
	24. Grau du Roi
	1. Canet
	27. Canavérier
	19. Marais de Plagnol
	20. Cros Martin
	22. Saint Nazaire
	23. Benezet
	17. Saint Marcel
	9. Grande Maire



Figure 20 : Représentation cartographique du résultats de sélection des roselières selon l'étude de l'hydromorphie.

3.3.3. Étape 3 – Délimitation des zones favorables comme secteurs de repli

Phase 3.1. Délimitation des zones favorables selon l'analyse du MNT et des zones humides potentielles

L'application du protocole de recherche des altitudes maximales des roselières d'études, à laquelle on ajoute les 1,1 m NGF du scénario récurrent 2100, permet d'obtenir les valeurs topographiques suivantes minimales pour la prospection de secteurs de repli (Tableau 21).

Tableau 21 : Détermination des altitudes minimales de prospection des secteurs de repli des roselières littorales prioritaires au risque de submersion marine.

Recul possible	Altitude max. roselière (m)	Altitude minimale prospection secteurs replis (m)
21. Pierre Fiche	1.05	2.15
13. Grande Palude	1.32	2.42
18. Bentenac	0.94	2.04
10. Bagnas	2.26	3.36
24. Grau du Roi	2.06	3.16
1. Canet	2.06	3.16
27. Canavérier	1.5	2.6
19. Marais de Plagnol	0.66	1.76
20. Cros Martin	1.26	2.36
22. Saint Nazaire	2.03	3.13
23. Benezet	1.73	2.83
17. Saint Marcel	2	3.1
9. Grande Maïre	1.8	2.9

Le découpage de la couche des zones potentielles humides selon cette délimitation de la topographie permet d'établir une nouvelle sélection (Tableau 22). Les environnements proches des sites d'études n°13, n°24 et n°27 ne permettent pas de procéder à une recherche des secteurs de repli car soumis à une très forte vulnérabilité face à la pression de submersion marine.

L'ensemble des cartes permettant la justification de cette sélection est disponible en Annexe 5.

Tableau 22 : Sélection des roselières par l'analyse du MNT dont l'environnement permet un repli de l'habitat.

Analyse du MNT	
Recul impossible	Recul possible
13. Grande Palude	21. Pierre Fiche
24. Grau Espiguette	18. Bentenac
27. Canavérier	10. Bagnas
	1. Canet
	19. Marais de Plagnol
	20. Cros Martin
	22. Saint Nazaire
	23. Benezet
	17. Saint Marcel
	9. Grande Maïre



Figure 21 : Représentation cartographique du résultats de sélection des roselières selon l'étude du critère du MNT.

Phase 3.2. Précision de la délimitation des zones favorables selon l'analyse des zones tampons du bâti et du réseau de transports

A la couche des zones humides potentielles découpées selon l'analyse du MNT, on retire à présent la superficie des couches des zones tampons du bâti et des réseaux de transports, permettant de délimiter l'ensemble du territoire permettant un potentiel accueil de l'habitat roselière (Figure 22).

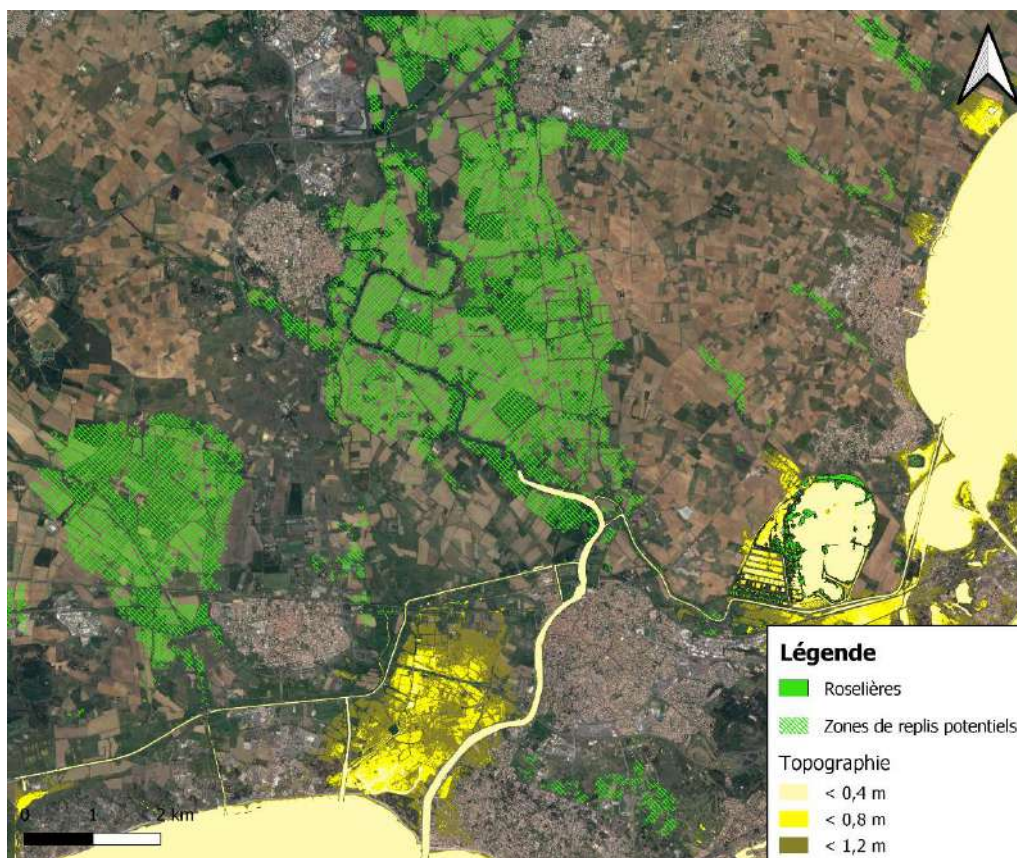


Figure 22 : Cartographie de la délimitation des zones de repli potentiels du site du Bagnas n°10.

Les cartes représentant les périmètres de repli potentiels des 9 autres roselières d'études sont en Annexe 6.

Phase 3.3. Étude du réseau hydrographique et précision des zones favorables

L'ajout du réseau hydrographique aux cartographies précédentes (Figure 23) permet de visuellement cibler les zones pouvant potentiellement être alimentées par un apport d'eau douce.

Les cartes intégrant le réseau hydrographique aux zones de repli potentiels sont en Annexe 7.

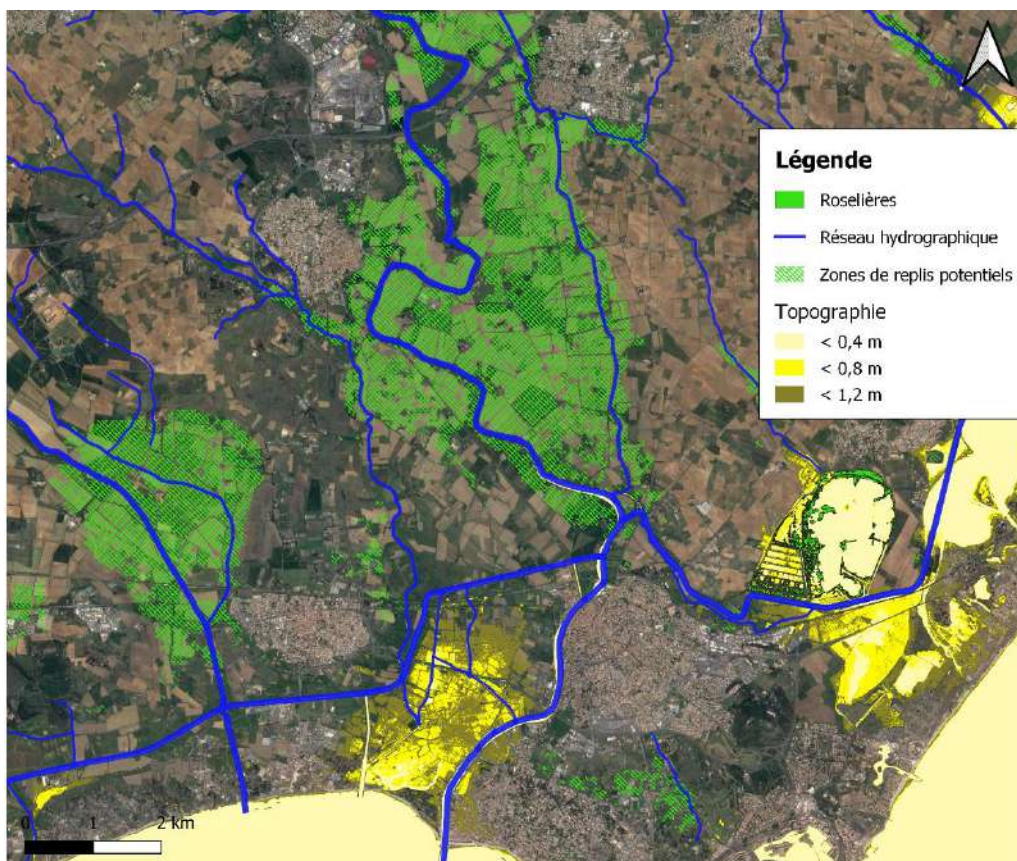


Figure 23 : Cartographie du réseau hydrographique intégré aux zones de repli potentiels du site du Bagnas n°10.

3.4. Analyse de la situation actuelle sur les zones de repli potentiels

3.4.1. Prospection des zones identifiées comme favorables au potentiel repli

La délimitation des potentiels secteurs de repli s'appuyant uniquement sur un traitement informatique, il est nécessaire de vérifier les résultats obtenus par une prospection de terrain. Cette démarche consiste à prospecter les zones identifiées comme favorables au repli des roselières à risques et à visuellement récolter les indices témoins de la présence de zone humide (Figure 24).

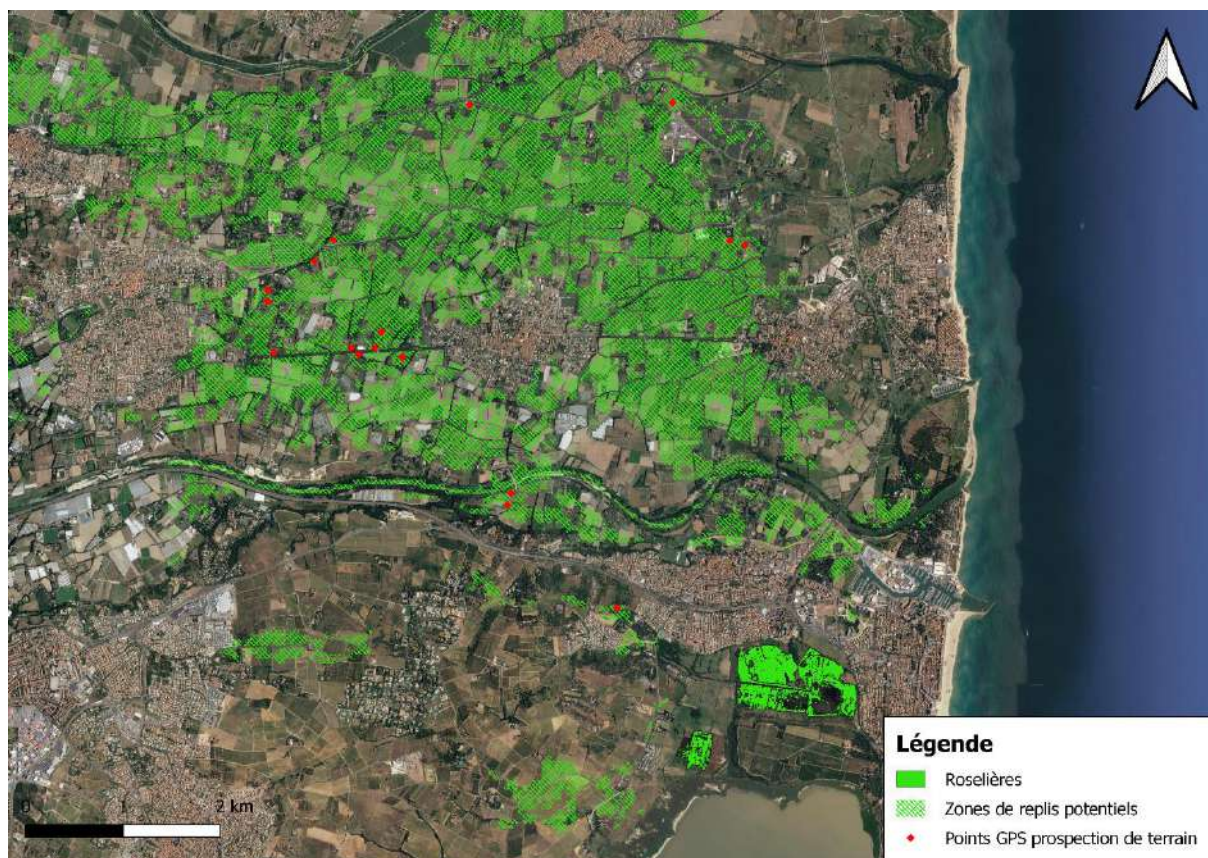


Figure 24 : Emplacements des points GPS des prospections de terrain.

C'est une étape simple, « à dire d'expert », qui ne nécessite pas de protocole scientifique poussé comme des sondages pédologiques, des relevés floristiques, etc. La présence de familles indicatrices de zones humides telles que les cypéracées, joncacées ou encore directement de populations de *Phragmites australis*, constituent une preuve de la cohérence des résultats (Figure 25, Figure 26, Figure 27 et Figure 28).



Figure 25 : Présence de *Phragmites australis* dans la zone de repli identifiée du site de la Grande Mère n°9.



Figure 26 : Présence de *Phragmites australis* dans la zone de repli identifiée du site du Canet n°1.



Figure 27 : Présence de scirpes dans la zone de repli identifiée du site du Canet n°1.



Figure 28 : Cours d'eau de l'Orbière compris dans la zone de repli identifiée du site de la Grande Mère n°9.

Cette étape permet non seulement de valoriser les résultats obtenus par le traitement cartographique de l'identification des secteurs de repli, mais aussi d'identifier la présence de zones dont l'état actuel ne permet pas l'accueil immédiat de roselières (Figure 29, Figure 30 et Figure 31).



Figure 29 : Travaux de constructions d'habitations dans la zone de repli identifiée du site de Saint Nazaire n°22.



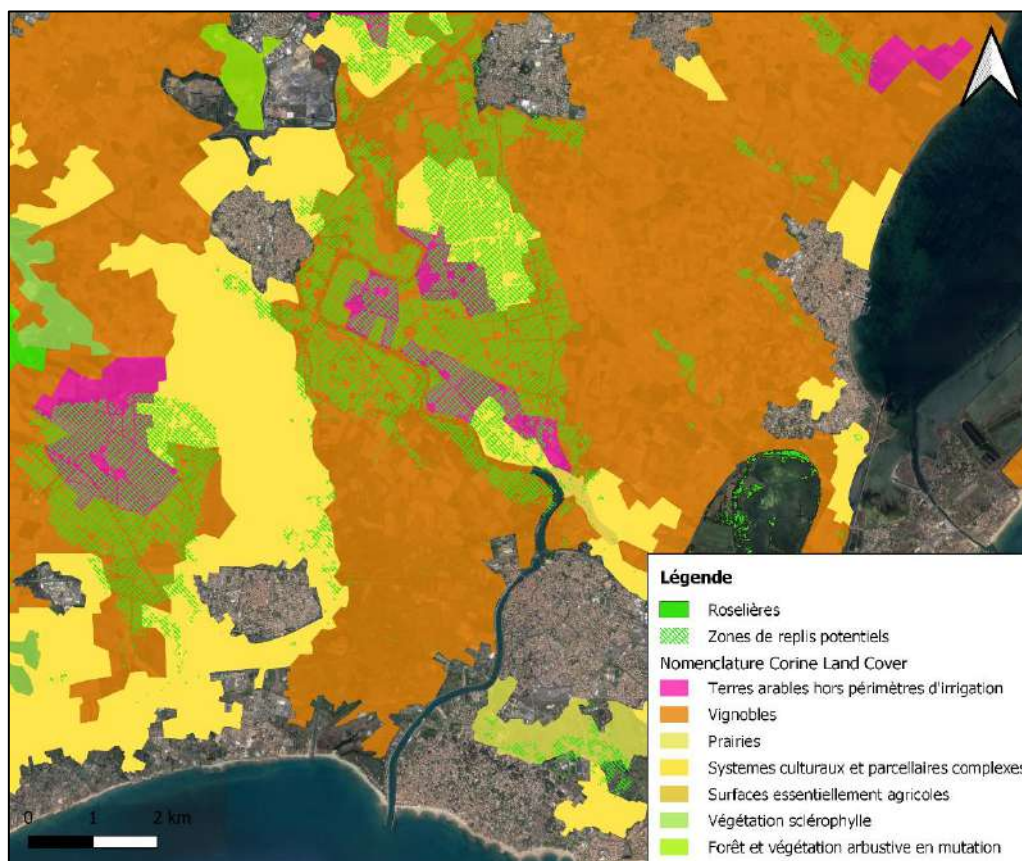
Figure 30 : Centrale photovoltaïque de Torrelles dans la zone de repli identifiée du site du Canet n°1.



Figure 31 : Culture de lavandes dans la zone de repli identifiée de Saint Nazaire n°22.

3.4.2. Occupation du sol

La précédente phase de prospection de terrain permet de mettre en exergue l'occupation du sol comme principale problématique à la mise en œuvre des travaux de recul des roselières littorales d'Occitanie. C'est une preuve que la dernière version des données, en particulier celles de la BD TOPO, doivent être utilisées pour appliquer le protocole : les constructions en cours ou les nouvelles constructions surfaciques comme une centrale photovoltaïque n'étant pas encore intégrées dans la dernière version utilisée dans ce rapport.



Nous remarquons que l'agriculture domine l'occupation du sol des environnements des sites. L'utilisation de l'inventaire biophysique de l'occupation des sols CORINE Land Cover permet d'identifier la nature des zones délimitées comme favorables au repli stratégique (cartes en Annexe 8). 13 types de sols sont ainsi recensés sur les secteurs de repli des 10 sites considérés comme prioritaires :

Tableau 23 : Occupation du sol (territoires agricoles, forêts et milieux semi-naturels) des zones de repli potentiels de l'ensemble du secteur d'étude.

Code	Libellé	Couleur
211	Terres arables hors périmètres d'irrigation	
213	Rizières	
221	Vignobles	
222	Vergers et petits fruits	
223	Oliveraies	
231	Prairies	
242	Systèmes culturaux et parcellaires complexes	
243	Surfaces essentiellement agricoles	
311	Forêts de feuillus	
312	Forêts de conifères	
313	Forêts mélangées	
323	Végétation sclérophylle	
324	Forêt et végétation arbustive en mutation	

Dans le cadre d'une procédure de pré-travaux, l'étape complémentaire de cette démarche sera une étude cadastrale de façon à identifier chacun des propriétaires terriens.

Discussion

L'ensemble de cette étude s'appuie sur les résultats de simulations de submersions marines fournis par le BRGM. Il est important de préciser qu'il existe des incertitudes inhérentes à la modélisation de cet aléa car ces simulations utilisent des hypothèses sur l'élévation du niveau de la mer et des conditions climatiques, difficilement prévisibles. De plus, des difficultés résident sur les échéances à moyen et long terme étudiées (jusqu'à 2100) et sur le trait de côte dont son évolution ne permet pas une prédiction exacte de son avancée vers l'intérieur des terres. De façon à intégrer les erreurs, inévitables dans les prévisions pour permettre une marge d'erreur, les scénarios les plus pessimistes ont été utilisés pour permettre une sécurité face aux événements.

Le temps est le facteur prioritaire de l'étape de priorisation des roselières à risques : il a fallu évaluer quelle période, parmi 2030-2050, 2100 et après 2100, était à utiliser comme facteur de priorité. Il a été discuté de se concentrer sur les sites les moins rapidement touchés (2100 et après 2100) par le premier scénario de submersion. En effet, il pourrait être pertinent de concentrer les efforts de conservation sur les sites dont le temps d'action disponible est large. En revanche, le contexte d'urgence climatique a orienté le choix de priorisation sur les premiers sites touchés à l'horizon 2030-2050. La perte de ces 16 roselières sur les 28 du projet causerait une fragmentation trop importante dans la trame turquoise du littoral d'Occitanie et une perte catastrophique de la biodiversité qu'elles abritent. Ces sites ont ainsi été sélectionnés comme prioritaires dans la recherche de secteurs de repli.

Dans un second temps, ces derniers ont été classés par type de submersion : on place les sites soumis à une menace de submersion permanente comme prioritaires. Les scénarios récurrents et exceptionnels sont des contextes dangereux pour les sites fonctionnant comme une seule entité hydraulique. C'est-à-dire qu'une seule entrée d'eau salée, même sur une seule journée, peut s'avérer définitivement mortelle pour la roselière. De ce fait, il est évident qu'un scénario de submersion marine permanent exprime une situation d'autant plus irréversible en matière de perte de fonctionnalité des roselières.

Les stratégies de conservations ont tendance à privilégier les sites de tailles importantes. Dans cette étude, ce facteur n'a pas été intégré dans la sélection des roselières car il ne reflète ni le potentiel d'accueil, ni la mosaïque d'habitat, ni la fonctionnalité de la trame turquoise. Cependant, le pourcentage de surface impactée par les submersions a été utilisé comme facteur de tri final : non comme un facteur de sélection. Cela permet de classer les sites selon la proportion de perte totale d'habitat. Bien que cette étape permette d'évaluer l'intensité de l'impact de la submersion sur les sites d'études, il est important de rappeler une nouvelle fois que la majorité des roselières fonctionnant comme une seule entité hydraulique, une fois connectées de façon permanente ou récurrente à la mer, la totalité du site perdra en fonctionnalité sur le court terme.

L'indice RhoMéO I12 a permis de confirmer l'importance de pression d'artificialisation sur le littoral Méditerranéen. Au regard des résultats, I12 ne peut pas être utilisé pour rechercher les secteurs de repli car il ne rend pas compte de la possibilité de recul. Par exemple, un site présentant une pression d'artificialisation de 70% mais avec un bâti très dense, pourrait présenter une zone potentielle humide non construite sur laquelle il serait aisé de définir un secteur de repli. A contrario, un site avec une pression d'artificialisation de 30% dont le bâti et le transport sont très diffus et quadrillent l'ensemble du territoire ne permettrait pas de délimiter un secteur de repli. Cet indice permet aussi de mettre en

lumière qu'en plus de présenter une importante menace en termes de perte de diversité d'habitat, la submersion marine est une problématique majeure concernant l'enjeu socioéconomique.

La distance de recherche des zones de repli dans l'environnement des roselières n'est pas intégré dans le protocole. En effet, nous ne souhaitons pas imposer un rayon de recherche car cela limiterait les résultats. La justification à ce choix est que les travaux de génie écologiques utilisés pour le recul des roselières peuvent opter pour différentes techniques, dont l'implantation d'une nouvelle zone humide. Cette technique très interventionniste peut sembler relativement moins problématique pour l'avifaune, les ptérygotes (insectes ailés) voir les mammifères. En revanche, elle peut être plus problématique pour les groupes taxonomiques à faible capacité de dispersion : ichtyofaune, herpétofaune, etc. qui nécessiteraient dans ce cas des interventions de déplacements des espèces. Ainsi, la très grande proximité des secteurs de repli avec le site d'étude n'a pas été jugée essentielle, bien qu'on veuille cependant à respecter la continuité de la trame turquoise.

Les données LiDAR de 2009 utilisées pour l'étude MNT de délimitations des zones favorables comme secteurs de repli ont le défaut d'être parfois inexactes : dans les roselières extrêmement denses, il arrive qu'elles ne renseignent pas la hauteur du sol mais le hauteur du roseau. Pour pallier cette problématique dans l'étape de recherche de la topographie maximale, une étude basée sur le visuel et sur les connaissances de terrain a permis de limiter au maximum les erreurs de sélections de hauteurs.

Cette étape rentre dans la démarche de calcul de topographie minimale pour la délimitation des secteurs de repli : valeur obtenue en ajoutant à la hauteur maximale de la roselière le niveau +1,1m NGF. Cette méthode est appuyée par le Plan de Prévention Risque (PPR) submersion marine qui préconise un niveau de référence marine de +2m NGF (ou la côte maximale déjà observée si celle-ci est supérieure à +2m NGF) à prendre en compte lors de son élaboration. L'application du protocole permet d'obtenir des résultats individualisés à chacun des sites, de topographies minimales toutes supérieures à +2m NGF. Le Marais de Plagnol n°19, déroge à cette tendance avec l'obtention d'une topographie minimale de recherche de sites à 1,76 m. Comme ce site est intégré dans l'entité hydrographique de l'Étang de l'Or, la recherche des secteurs de repli a été homogénéisé à l'ensemble des 7 sites de la zone.

Bien qu'un site touché par un phénomène de submersion marine puisse être assimilé à un contexte définitif pour la roselière, si son apport en eau douce provient d'une source constante (canal, cours d'eau permanent, etc.) alors sa durée de vie peut être artificiellement prolongée. On ne parle pas de conserver la roselière à long terme, mais de la maintenir pendant un certain temps grâce à la gestion hydraulique. L'étude du réseau hydrographique a ainsi son importance pour ce motif, mais aussi dans un objectif d'utiliser ce dernier comme trame. Il serait effectivement pertinent de déplacer un site alimenté par un canal plus en amont de ce dernier, alors on ne génèrera pas un nouvel usage de la ressource.

Cette étude n'a pas inclus les intrusions salines, phénomène d'augmentation de la salinisation des nappes qui se fait déjà remarquer sur beaucoup de sites du projet par les suivis piézométriques. Les deux phénomènes de submersion et d'intrusion sont indissociables car l'avancée du biseau salé est témoin d'une montée du niveau de la mer et donc d'une « contamination » des aquifères par l'eau salée. Il faut ainsi bien comprendre que cette étude n'est qu'une approche partielle du problème « de salinisation des sites ». Le BRGM a évalué la vulnérabilité actuelle des sites vis-à-vis du biseau salé, mais les résultats de son évolution ne sont pas connus. A cet effet, un réseau de surveillance a été initié dans le cadre du projet.

Conclusion

L'objectif de ce rapport d'études était d'identifier les roselières les plus vulnérables face au risque de submersion marine et de déterminer des secteurs de repli permettant de potentiellement les accueillir dans une démarche de relocalisation des enjeux du littoral. Pour cela, les sites considérés comme prioritaires ont été sélectionnés selon l'analyse des résultats de scénarios de submersions fournis par le BRGM. La détermination des zones de repli a été obtenue par l'application d'un protocole répliquable construit dans le cadre de cette étude.

Parmi les 28 sites du projet, les résultats ont dans un premier temps permis d'identifier 16 d'entre eux comme très vulnérables face aux scénarios de submersion. Dans un second temps, les étapes d'analyses ont permis de sélectionner les roselières dont l'environnement permet un recul de l'habitat, soit 10 sites sur les 16 considérés prioritaires. Le faible nombre de sites retenus pour l'application du protocole de détermination des secteurs de repli s'explique par l'urgence de la situation : on cherche à concentrer les efforts sur les roselières qui vont être les premières à disparaître pour préserver la trame turquoise du littoral d'Occitanie.

A cette problématique s'ajoutent celles de l'érosion de la côte du Golfe du Lion et du risque tsunami auquel elle est soumise. Ces facteurs ne sont pas pris en compte dans cette étude mais ne font que renforcer l'aspect alarmant de la condition du littoral Méditerranéen. Il est important de noter que cette situation n'est pas uniquement concentrée sur ce secteur et que les impacts du changement climatique sur les territoires littoraux est une problématique de dimensions nationale et internationale.

Il semble cependant majeur de noter qu'en parallèle de l'implication pour la préservation des espaces naturels, l'attention devra aussi se porter sur les populations habitants la frange littorale et le risque qu'elles encourent. Car en plus des risques sur la biodiversité et l'impact sur des vies humaines, la submersion marine conduira à un impact notable sur l'économie de ce territoire. Les méthodes de solutions à mettre en œuvre s'organisent selon diverses approches : protéger ou relocaliser les enjeux ? Opter pour une méthode de repli stratégique ou une lutte active ?

La méthode de repli semble être celle assurant au maximum l'avenir d'habitats naturels telles que les roselières. Toutefois, cette étude est une démarche préalable à l'élaboration de travaux. La recherche des techniques de génie écologique les plus optimales selon la nature du site et du secteur de repli potentiel est l'étape suivante de ce projet. Inclus dans une démarche de développement des Solutions fondées sur la Nature, cette étude permet de renforcer la dynamique d'usage infrastructures dites « vertes » et d'orienter la recréation de milieux naturels grâce à une valorisation des paysages comme une méthode à suivre pour les territoires littoraux de demain.

PRESSIION DE L'ARTIFICIALISATION

Description et principes du protocole

Le protocole consiste à modéliser l'espace artificialisé à partir des données vectorielles spatialisées (bâti et réseaux de transport) et de la qualifier suivant la structure du bâti. Les résultats sont ensuite extraits à deux échelles géographiques : le site et le territoire dans

lequel il s'inscrit. En cas d'utilisation de la BD Topo, composante géographique du Référentiel à Grande Échelle (RGE) de l'IGN, les thèmes bâti et réseaux de transport sont utilisés.

Méthode de mise en place

Etape 1 : récupération et préparation de la donnée vectorielle

Nous développons ici la méthode en prenant comme exemple l'utilisation des données de la BD Topo. Elle est disponible auprès de l'IGN à l'échelle départementale. Elle est téléchargeable sur l'espace professionnel en ligne. Les objets surfaciques des différentes couches correspondants au thème «bâti» sont agrégés. La même opération est réalisée pour les objets linéaires des couches correspondant au thème «réseau routier» et «réseau ferroviaire».

Etape 2 : création de la tache «artificialisée»

Cette tache artificialisée est construite sur la base d'une modélisation de l'emprise au sol et de l'influence des éléments d'artificialisation sur les zones humides, par la création de zones tampons (buffer) autour des objets de la BD Topo. Une tache «bâti» et une tache «voies de communication» sont réalisées puis fusionnées.

2.1. la tache bâti

Le bâti de la BD Topo correspond à la fois à la modélisation géométrique des bâtiments par restitution photogrammétrique issue des vues aériennes et à l'intégration des données du cadastre. Un objet bâti peut être représenté par :

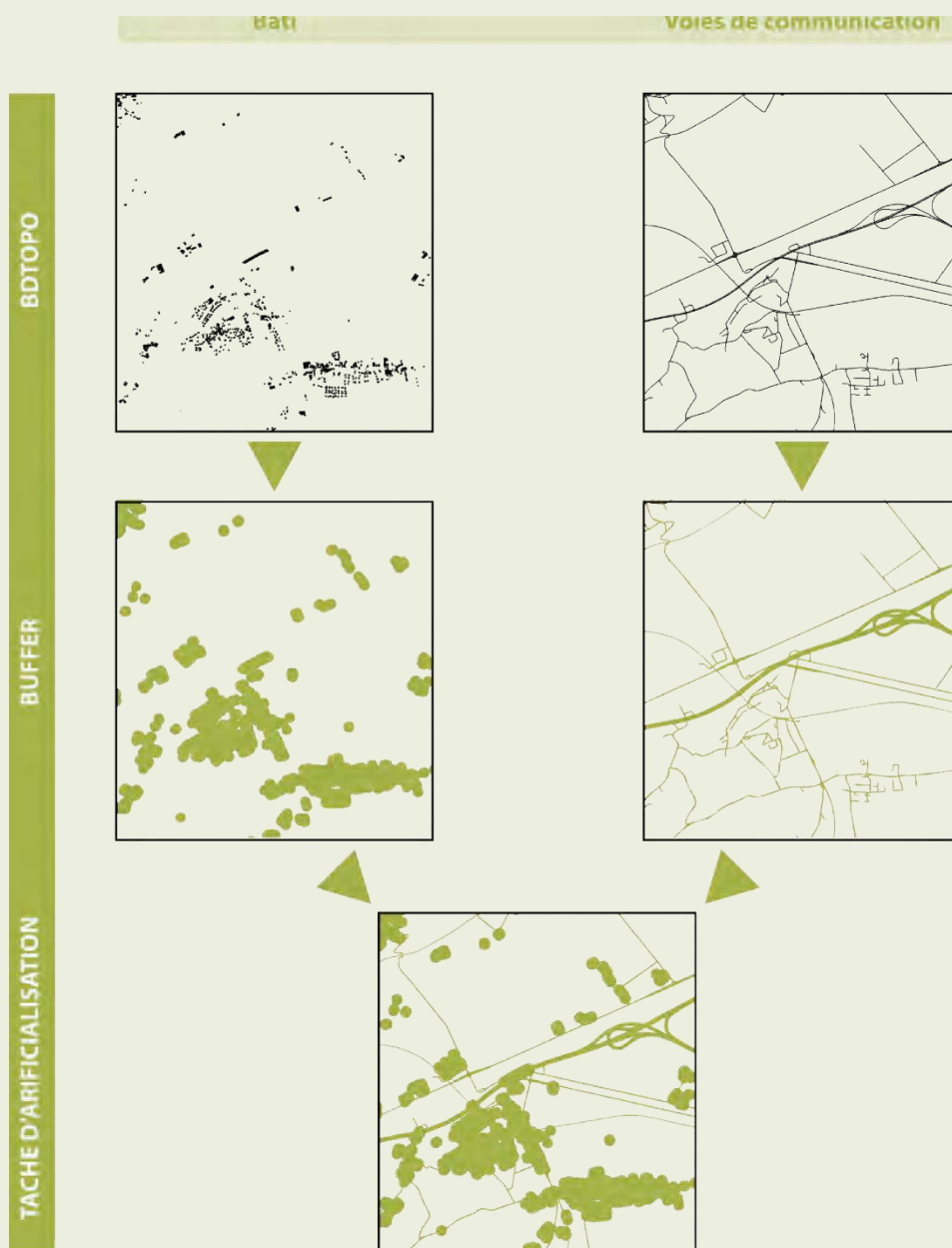
- un point (antennes, éoliennes, etc.) ;

- une ligne (murs, ruines, ponts, etc.) ;
- un polygone.

Seuls les polygones rentrent dans l'analyse : bâti indifférencié, bâti industriel, bâti remarquable, cimetière, construction légère, construction surfacique, piste d'aérodrome, réservoir et terrain de sport.

On considère comme étant sous pression de l'artificialisation une zone de 50 m autour des contours de chaque bâtiment. Les tampons réalisés pour chaque objet sont ensuite fusionnés pour créer des polygones (taches) regroupant l'influence de groupes de bâtiments proches (Figure 1). La tache «bâti» n'est donc pas l'emprise réelle au sol de l'artificialisation (voie d'accès, parking...), qui peut être inférieure ou supérieure à la taille de la zone tampon (50 m). Ce traitement génère des espaces au sein de la tache bâtie, appelés «dents creuses». S'il est possible de supprimer ces «dents creuses», par des méthodes de sélection d'objet ou de dilation / érosion, nous n'avons pas retenu ces procédés car aucun ne permet d'arriver à un résultat exempt d'erreurs. En effet, ces «dents creuses» correspondent autant à de petits espaces interstitiels entre les polygones lors de leur fusion (artéfact de la méthode), qu'à de véritables espaces non artificialisés au cœur de la tache urbaine. Quoi qu'il en soit, ces «trous» ne constituent pas une dégradation de la qualité du résultat recherché.

Figure 1 - Construction de la tache d'artificialisation



2.2 l'emprise des réseaux de transport

Pour transformer ces couches d'information linéaire en emprise au sol, une largeur est attribuée à chaque type de réseau de transport (Figure 1), le champ LARGEUR de la chaussée de la BD Topo n'étant pas utilisable (certaines largeurs ne sont pas renseignées, ou sont aberrantes), les valeurs suivantes ont été utilisées :

- Autoroute : $11 \text{ m} \times 3 = 33 \text{ m}$
- Quasi-autoroute : $8.5 \times 3 = 26 \text{ m}$ (arrondi)
- Route à 2 chaussées : $5 \times 3 = 15 \text{ m}$
- Route à 1 chaussée : $4 \times 2 = 8 \text{ m}$

Pour les voies ferrées un tronçon est décrit dans la table attributaire en largeur (champ LARGEUR avec 3 modalités : Normale, Etroite, Large) et en nombre de voies (champ NB_VOIES). En France, la largeur

usuelle d'une voie normale est de 1,4 m entre les bords intérieurs des rails ; elle est inférieure à 1 mètre (souvent 0,6m, valeur retenue) pour une voie étroite et de 1,6m pour les voies larges (plus rare). Pour modéliser une emprise en mètres : $\text{Nb_Voies} \times \text{largeur} \times 3$

Remarques :

- pour les NB_VOIES = 0 , on affecte NB_VOIES = 1 ;
- le coefficient 3 simule une emprise plus large du ballast.

L'ensemble des zones tampons (buffer) en fonction du champ «emprise » est fusionnée pour créer la tache réseau de transport.



Méthode de mise en place (Suite)

3. Calcul de l'indicateur

Nous utilisons le nombre de bâtiments, leur surface et la surface de la tâche urbaine dans la formule suivante :

$$I_{\text{Bat}} = \frac{(Nb \text{ Bâtiment} * \Sigma \text{ surface Bâtiment})}{\Sigma \text{ tâche «bâti»}}$$

$Nb \text{ Bâtiment}$ > Nombre bâtiment du polygone de tâche «bâti»

$\Sigma \text{ surface Bâtiment}$ > Somme de surface des bâtiments du polygone de tâche «bâti»

$\Sigma \text{ tâche «bâti»}$ > Surface du polygone de tâche «bâti».

Les valeurs brutes de l'indice sont ensuite reclassées. Six classes sont définies, même si un regroupement de classes est ensuite effectué pour le calcul de la valeur indicatrice (seule la proportion de bâti de type urbain sera extraite). Les bornes des différentes classes ont été fixées sur la base de situations théoriques, puis validées par des exemples connus.

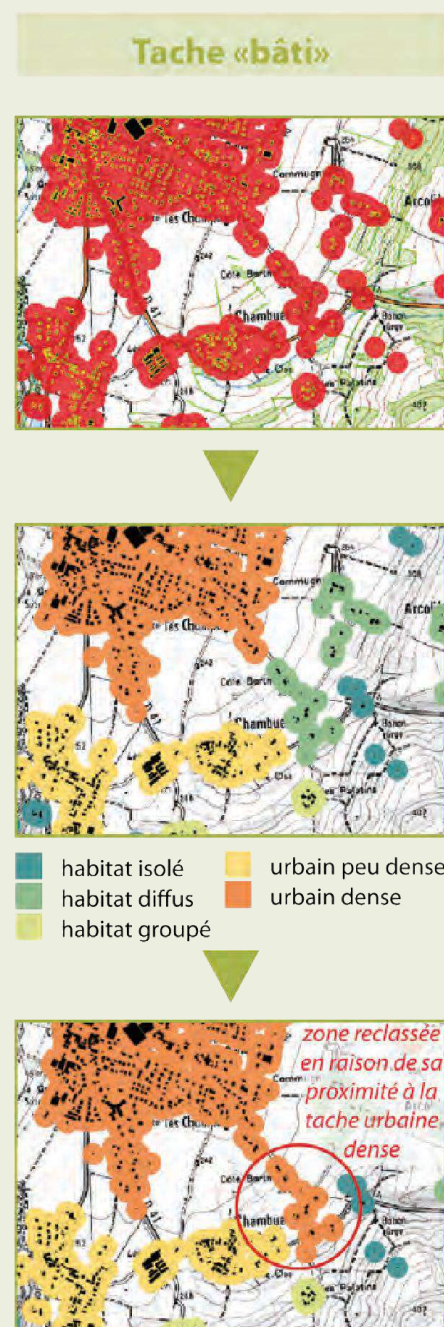
On distingue différentes formes d'organisation du bâti suivant les valeurs d'indices (Figure 3) :

- le bâti rural, constitué de l'habitat isolé (<0.1), l'habitat diffus (0.1 à 1) et l'habitat groupé (1 à 10),
- le bâti urbain, constitué de l'urbain peu dense (10 à 100), de l'urbain dense (100 à 1000) et de l'urbain très dense (> 1000).

Une fois la distinction en classe faite, un reclassement progressif est appliqué, associant les zones de bâti rural à une classe urbaine lorsqu'elles se situent à moins de 100 m de ces dernières (Figure 4). Ce traitement permet d'homogénéiser les zones de classes différentes séparées par très peu de distance. Il s'agit de prendre en compte la proximité des objets et de traduire le processus d'influence des grands pôles urbains et d'extension des couronnes urbaines.

L'ensemble des procédures techniques (requêtes SQL PostGRES/ PostGIS) sont en annexe 2.

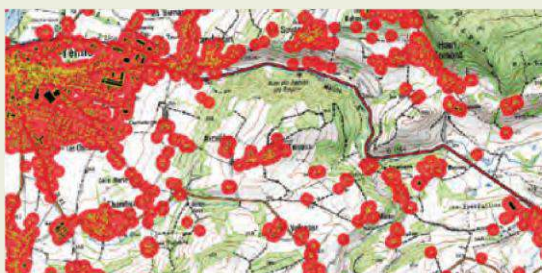
Figure 4 - Reclassification des types de bâti



Méthode de mise en place (Suite)

Figure 3 - Processus de classification du bâti

Tache bâtie



Reclassement de l'indice du bâti

Différentes classes de bâti

Habitat isolé



Urbain peu dense



Habitat diffus



Urbain dense



Habitat groupé



Urbain très dense

Fusion des classes urbaines

Surfaces urbanisées





Représentativité des données

Cette méthode permet de générer régulièrement et quasi automatiquement des indices d'occupation du sol par le bâti et les réseaux de transport (imperméabilité du sol). Les classes par densité permettent de caractériser cette surface et de prendre en compte son utilisation potentielle.

Ces informations permettent de caractériser la perte directe de surface de zones humides par l'implantation urbaine. De plus, elles permettent de prendre en compte la dangerosité potentielle pour la qualité de la zone humide, de la densification urbaine à proximité, grâce à des éléments de description de son contexte.

La portée de l'interprétation est dépendante de la précision de la donnée de départ.

Avec l'utilisation de la BD Topo, la donnée présente l'avantage d'être précise (échelle du 1 : 5 000 - 1 : 10 000) et homogène à l'échelle nationale, mais a l'inconvénient de l'absence de la traçabilité de l'actualité de l'information. De ce fait, un pas de temps de 5 ans minimum est nécessaire aujourd'hui, pour conserver la pertinence du suivi de l'évolution de l'indicateur.

Opérationnalité de la collecte

• Technicité

Selon la taille du territoire concerné l'établissement de la méthode peut être assez technique. En revanche, les traitements sont automatisables pour un calcul simplifié des indices attendus. Le travail sur les données de référence (territoires de calculs, agrégation de la BD Topo à pas de temps réguliers, etc.) est nécessaire à chaque mise à jour du calcul de l'indicateur.

La BD Topo étant distribuée à l'échelle départementale, si le territoire d'étude est plus petit, le processus est facilité.

• Compétence requise

La récupération et l'analyse des données requièrent une compétence experte en analyse spatiale (SIG). L'automatisation des traitements nécessite des compétences en développement. Toutefois, les listes de procédures et la description des requêtes permettent à un opérateur SIG utilisant les outils logiciels décrits de mettre en oeuvre les analyses et calculs.

Impact du niveau de compétence sur l'évaluation de l'indicateur

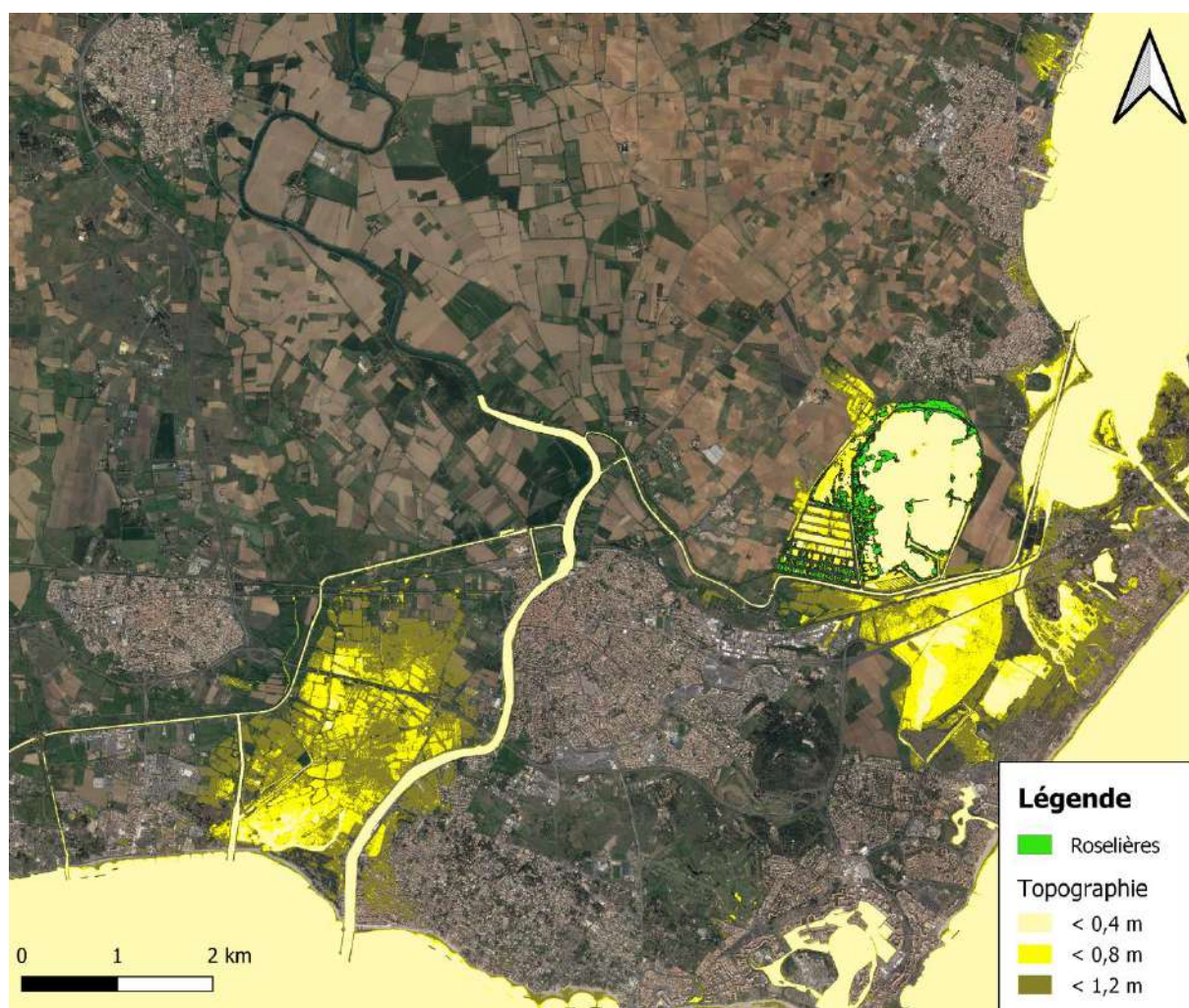
L'évaluation de l'indicateur est normalement indépendante de l'opérateur.

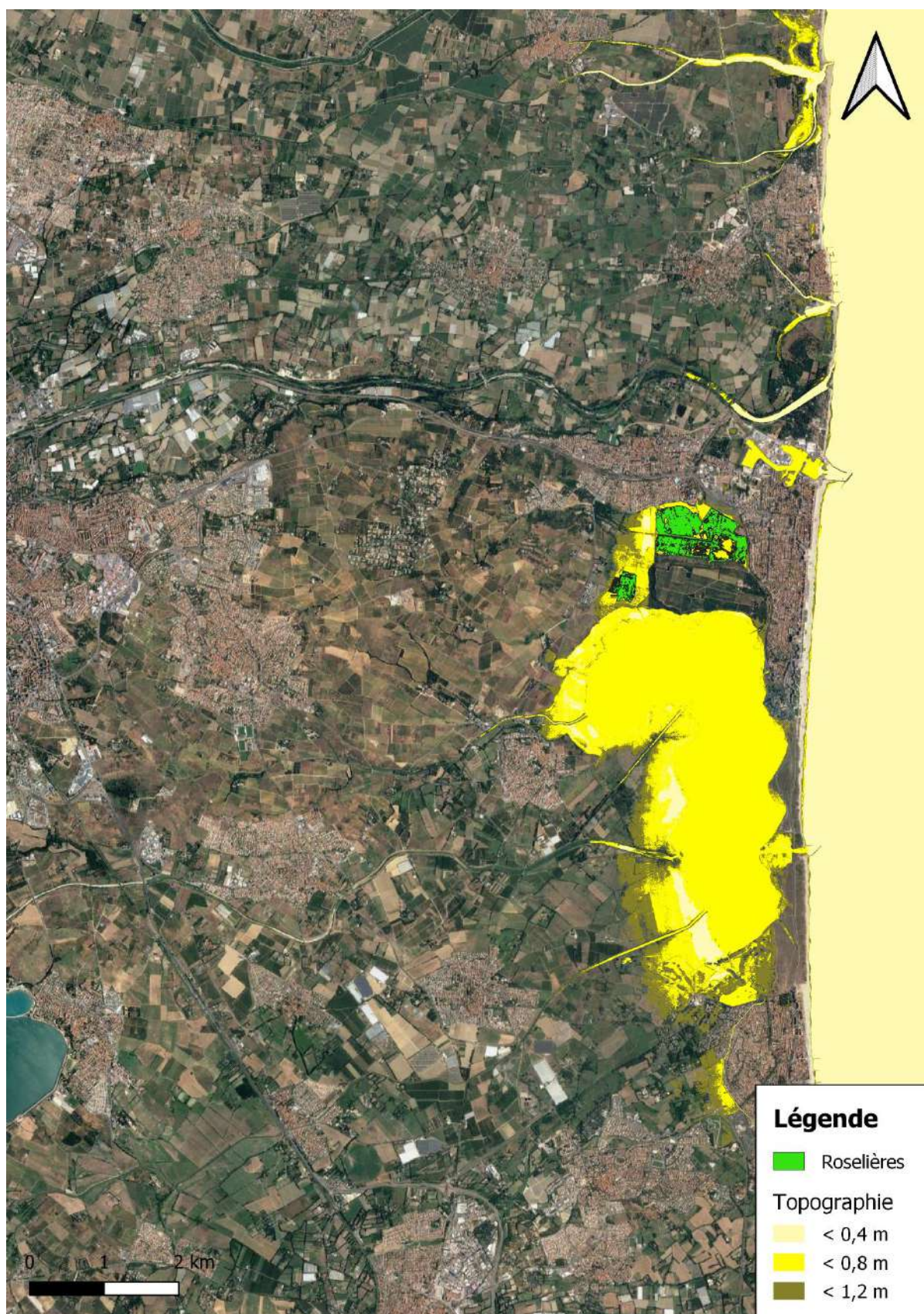
• Temps moyen de collecte (coût)

Si la BD Topo est utilisée, le coût dépend de la convention avec l'IGN pour l'utilisation de son référentiel à grande échelle (RGE®) de l'IGN. Des solutions open-source et gratuites existent.

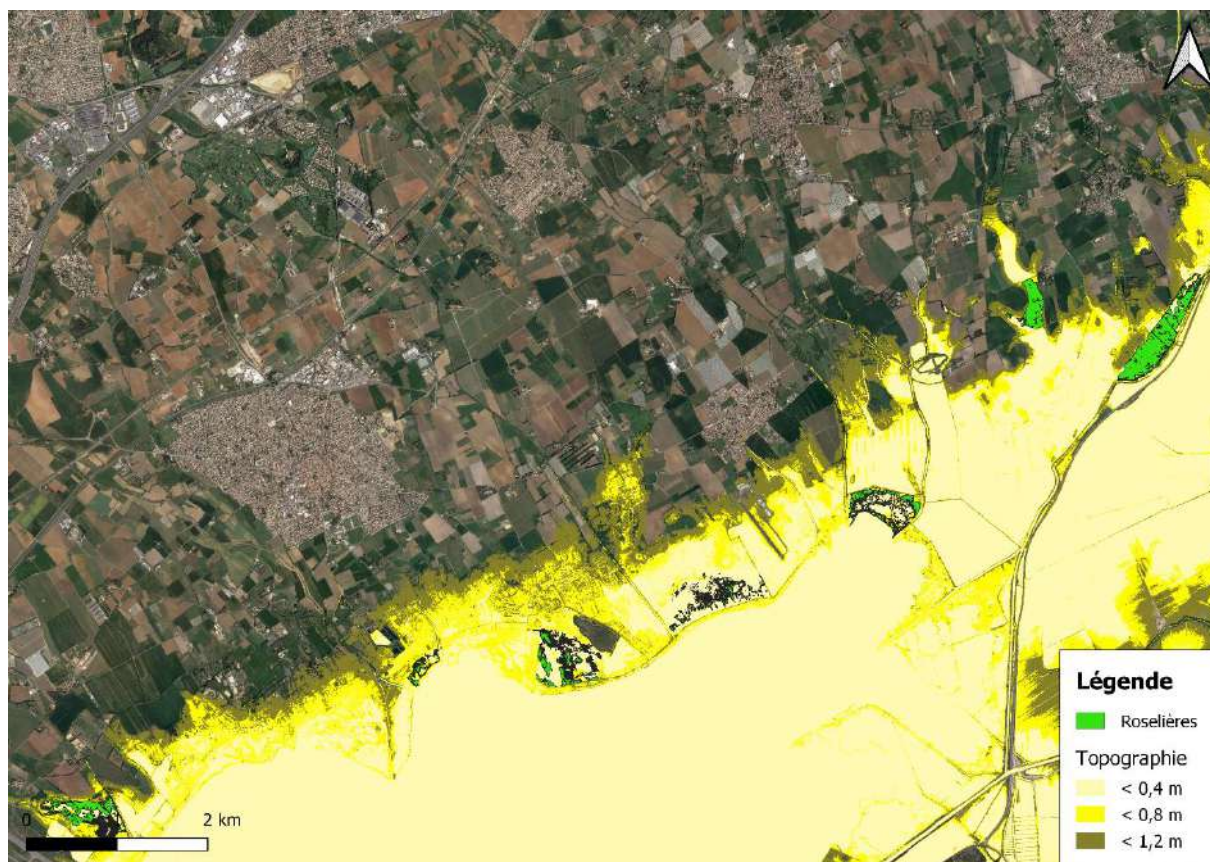
Selon les compétences de l'opérateur, 2 à 3 jours de travail sont nécessaires. Toutefois, pour de très vastes territoires, les traitements peuvent être assez chronophages. Ceci est particulièrement vrai lorsque le nombre d'objets à analyser est important (5 millions de polygones et 10 millions de polygones sur le bassin RMC). Certaines étapes du calcul nécessitent alors des ressources informatiques importantes et des astuces de programmation/organisation des requêtes complexes.

Annexe 2 – Mise en relief de la topographie correspondante aux niveaux NGF des 3 scénarios permanents
Bagnas n°10

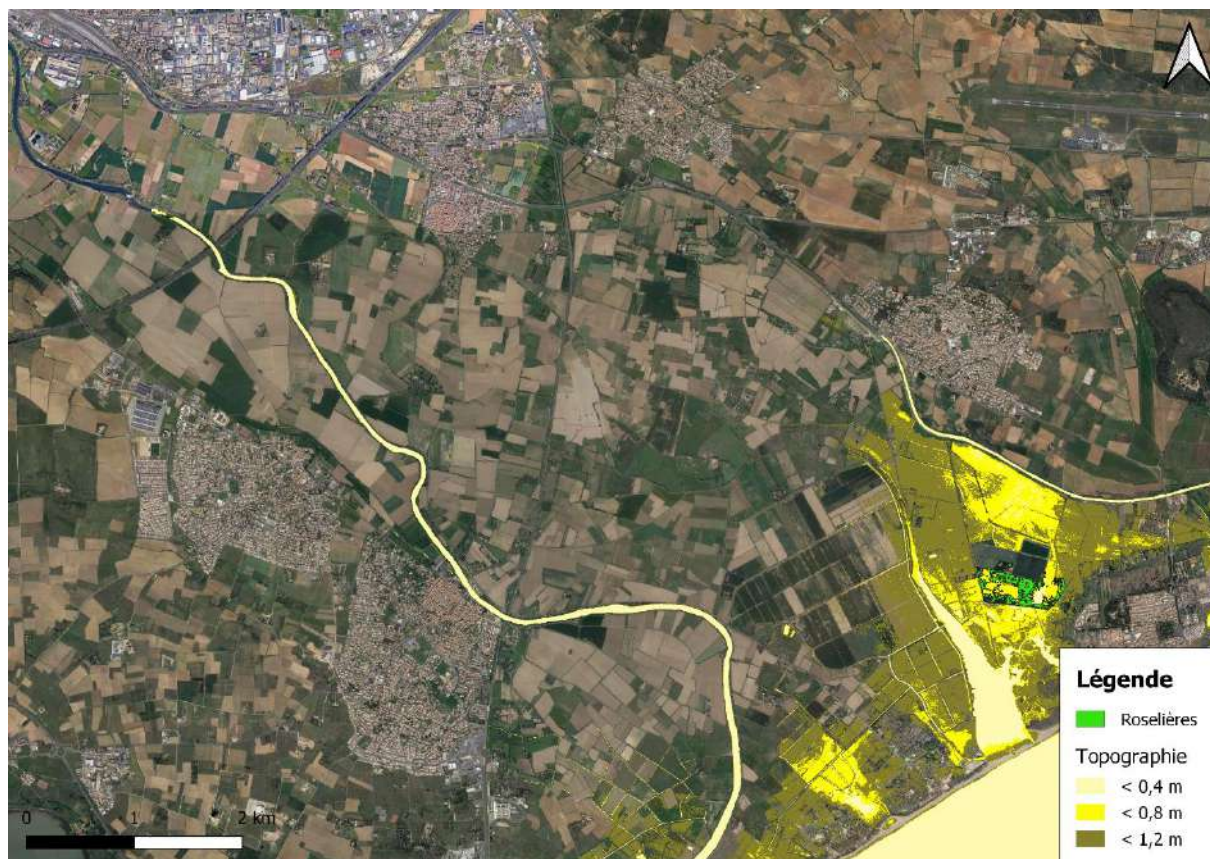




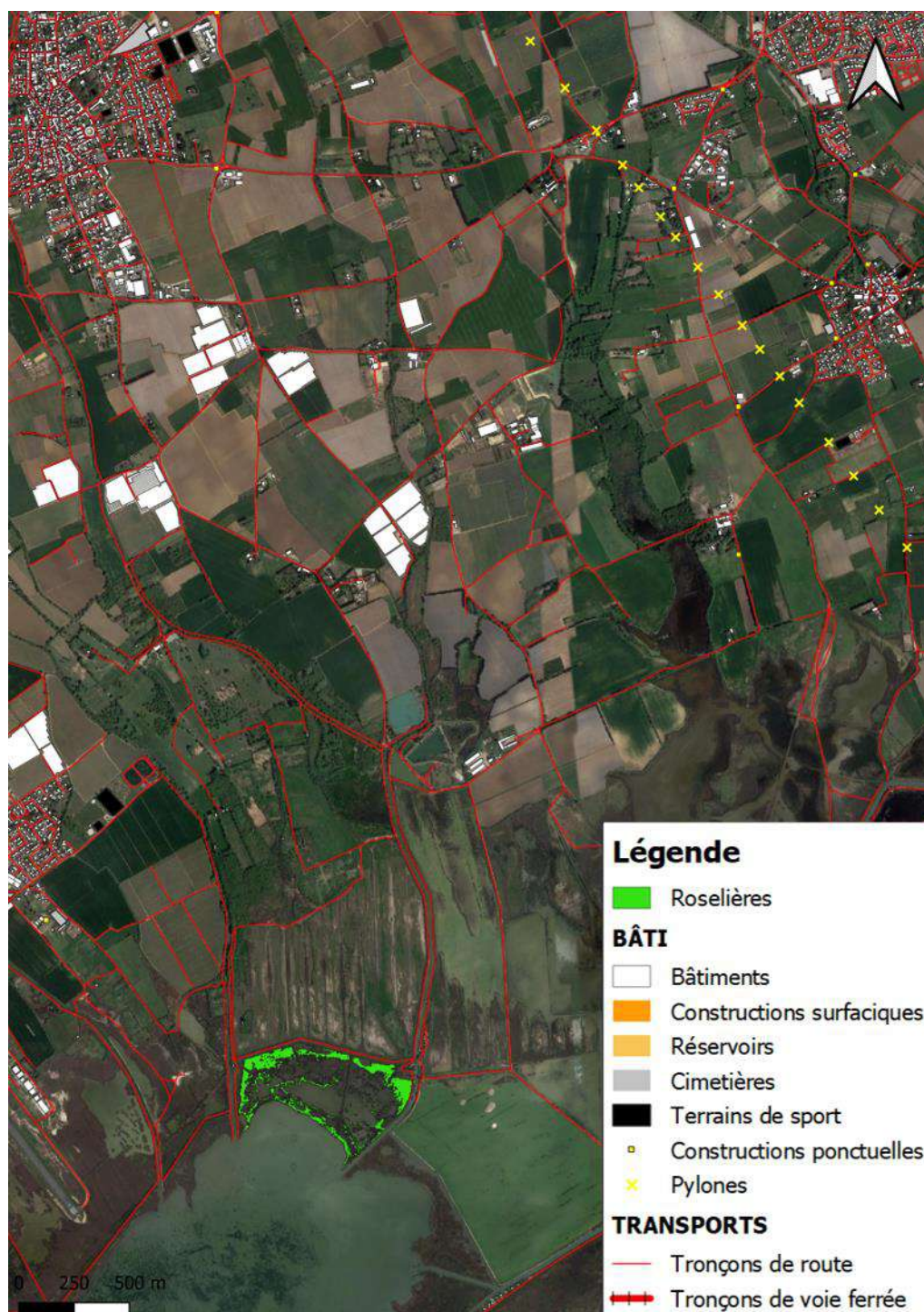
De gauche à droite : Saint Marcel n°17, Bentenac n°18, Marais de Plagnol n°19, Cros Martin n°20, Pierre Fiche n°21, Saint Nazaire n°22 et Benezet n°23



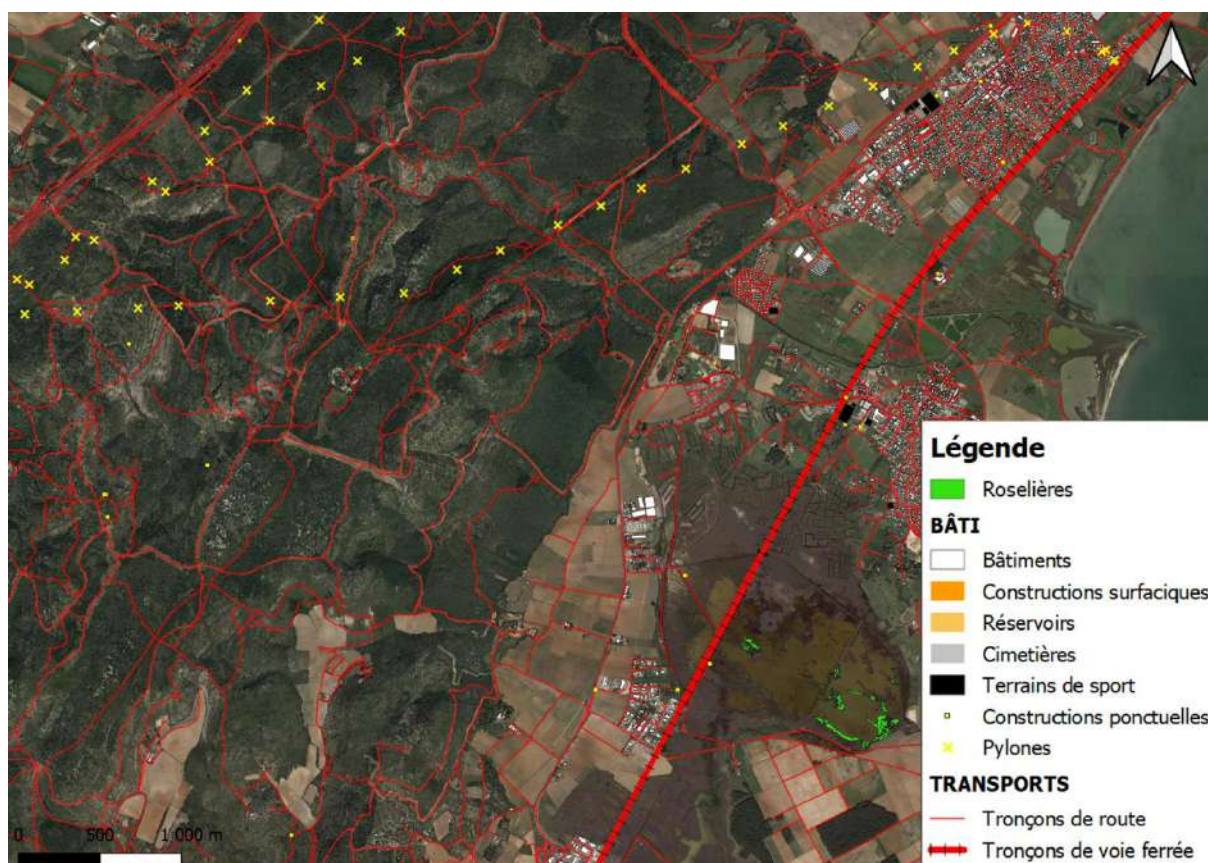
Grande Maïre n°9



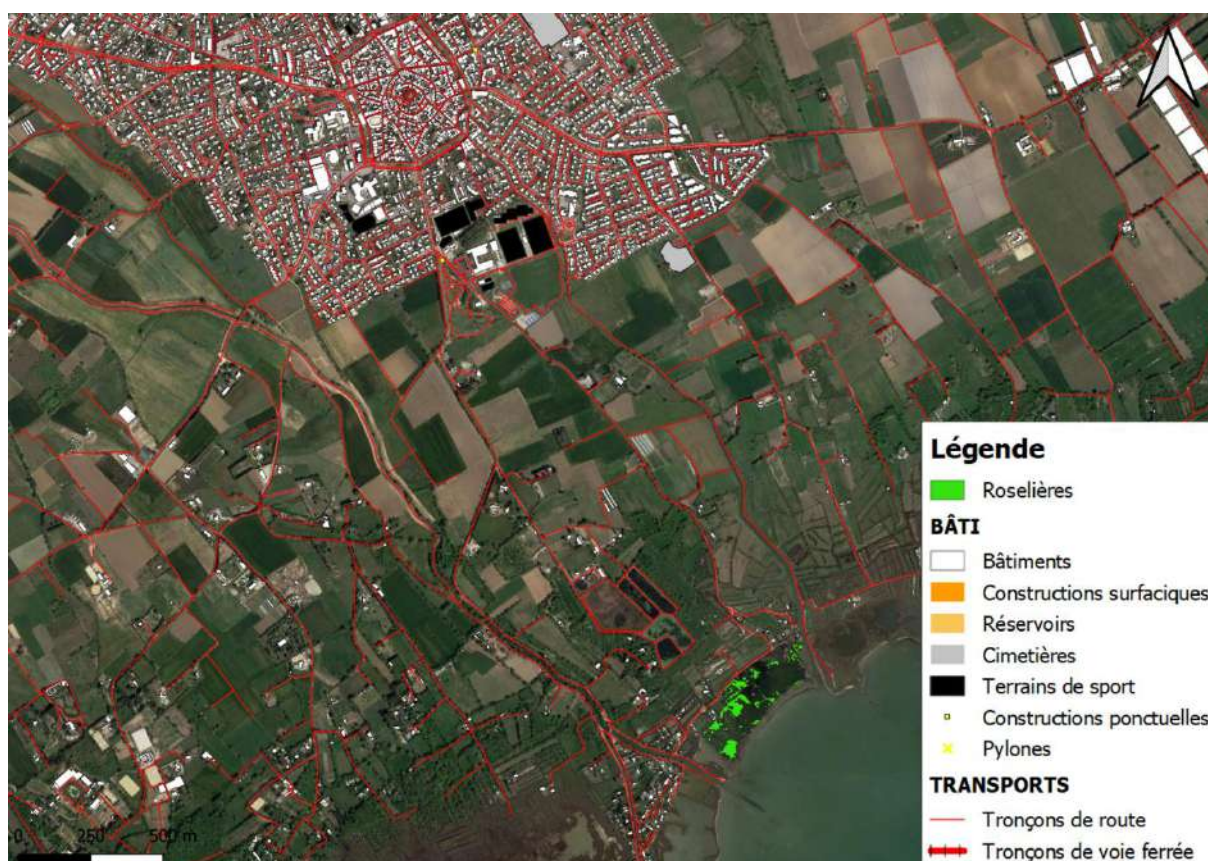
Annexe 3 – Cartographie du bâti et du réseau de transports des sites d'études
Pierre Fiche n°21



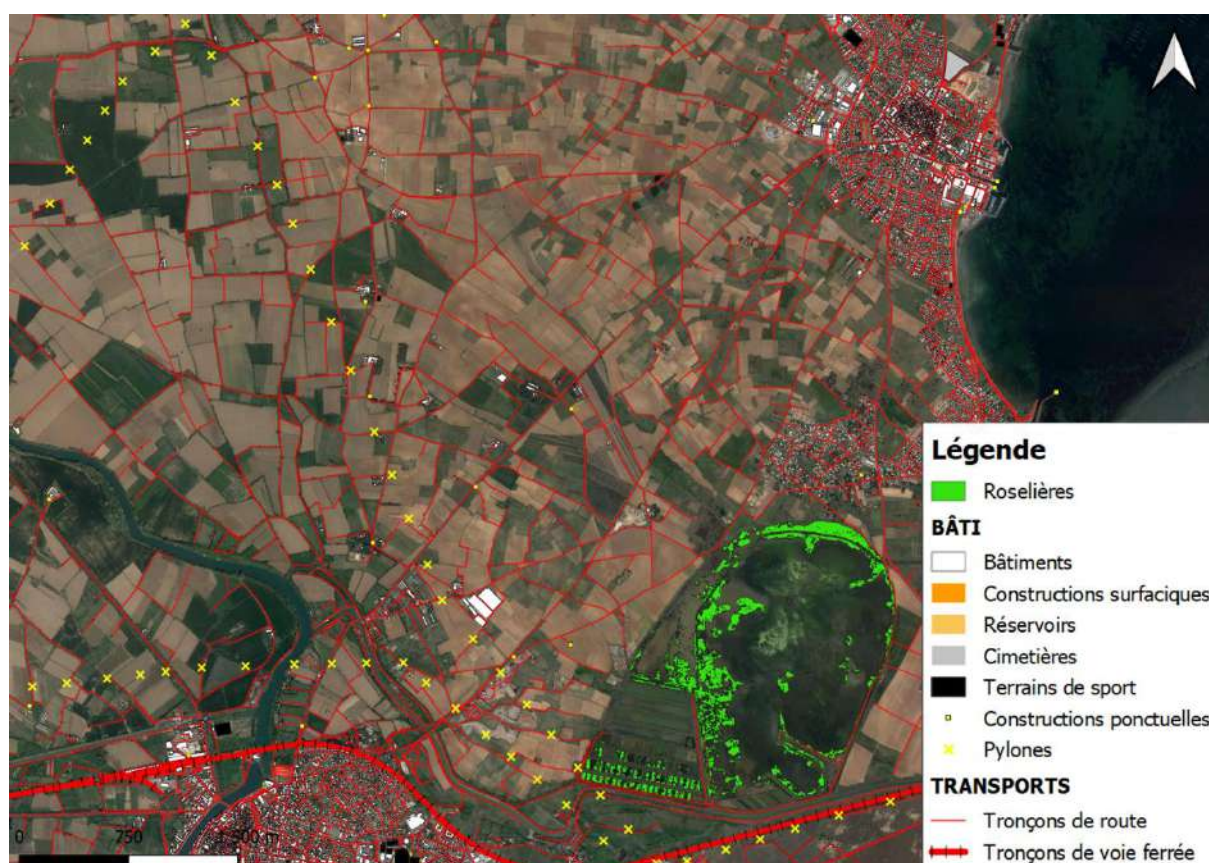
Grande Palude n°13



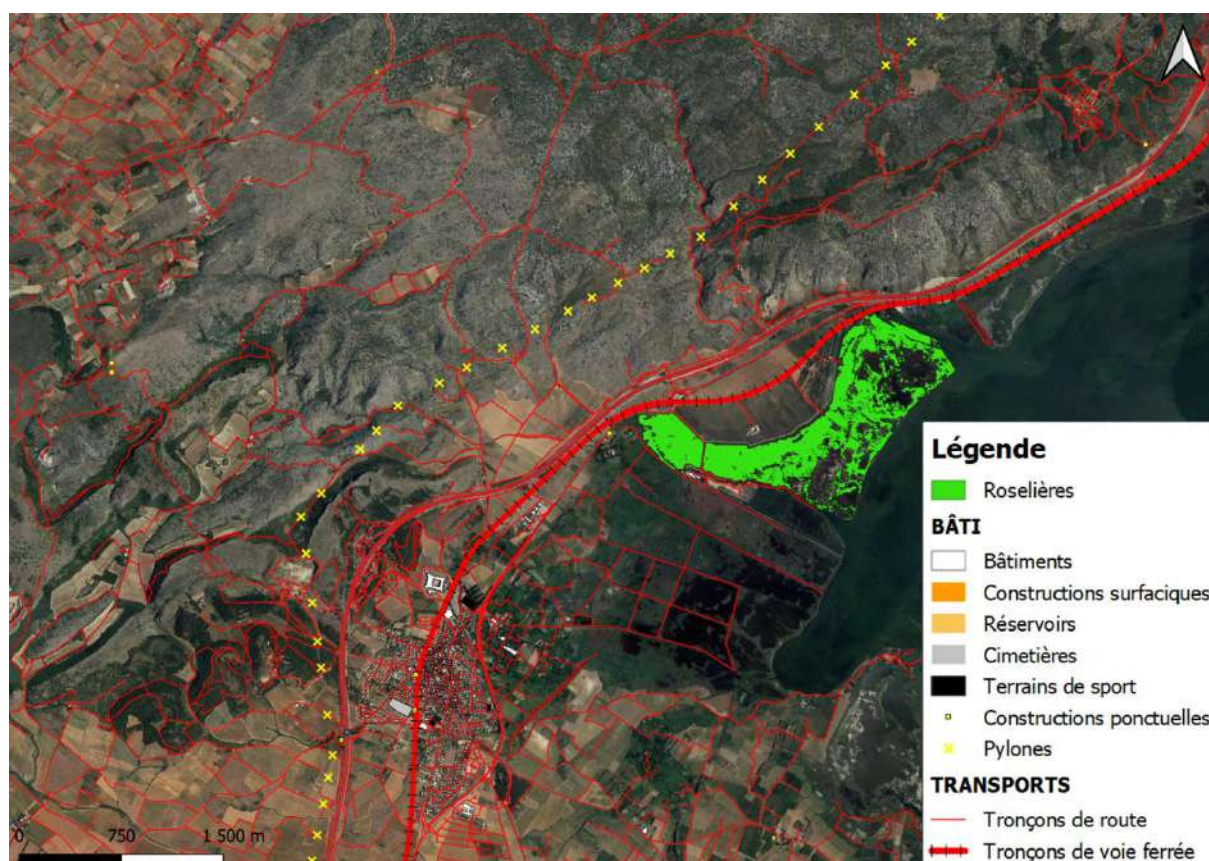
Bentenac n°18



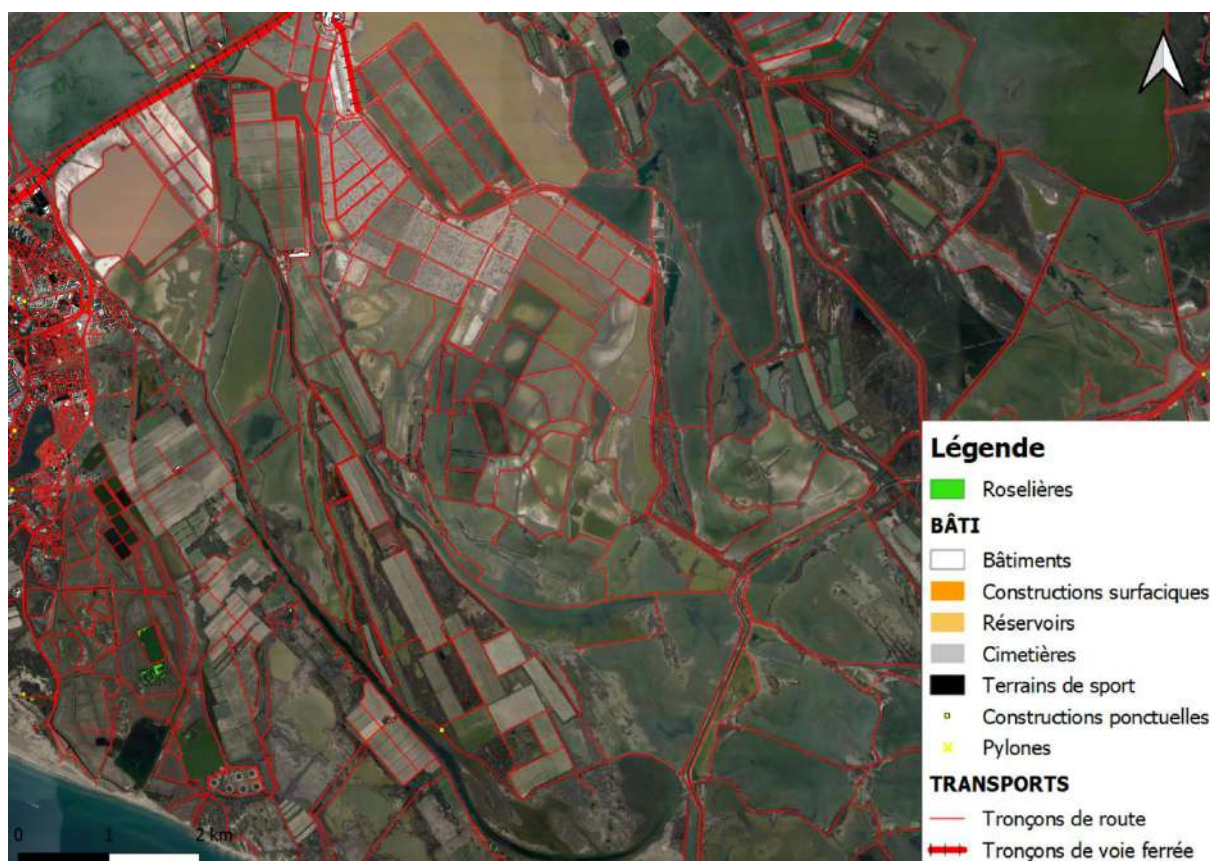
Bagnas n°10



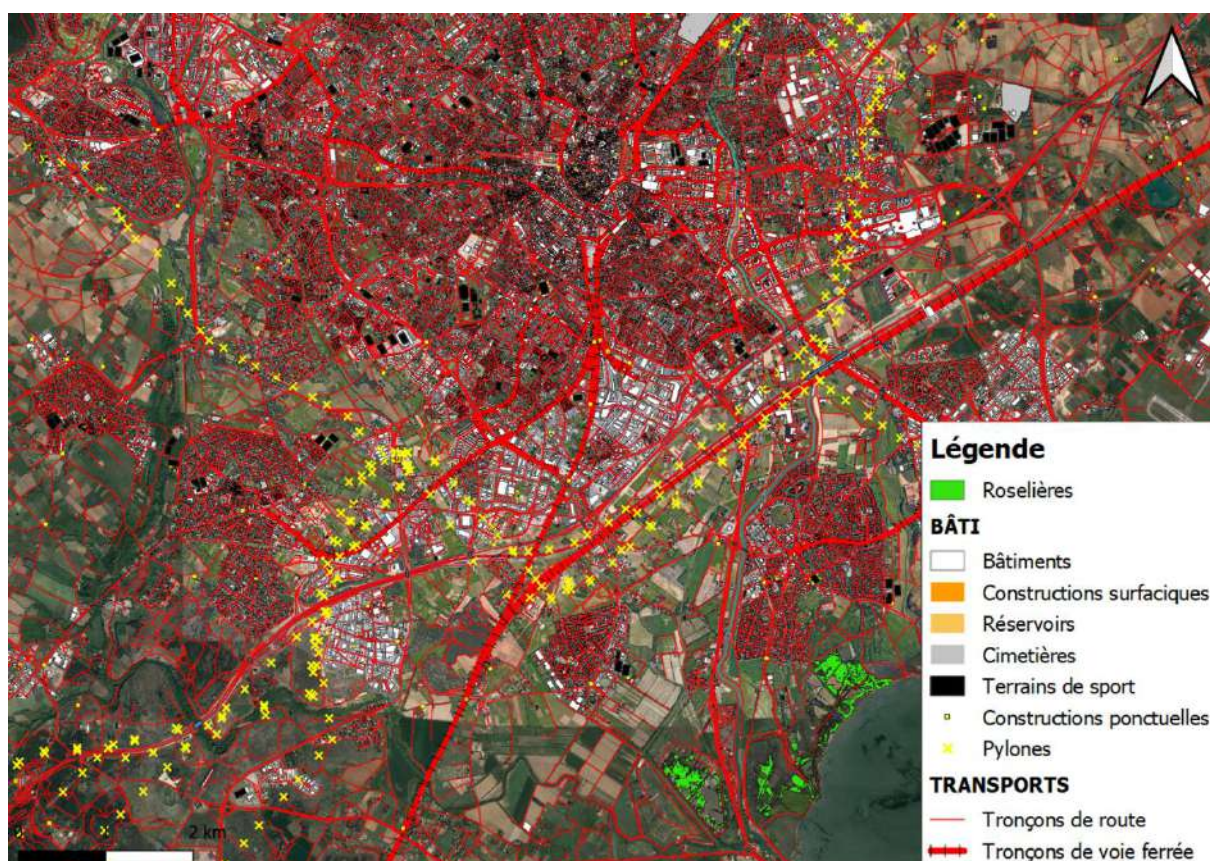
Sagnes d'Opoul n°2



Grau du roi n°24



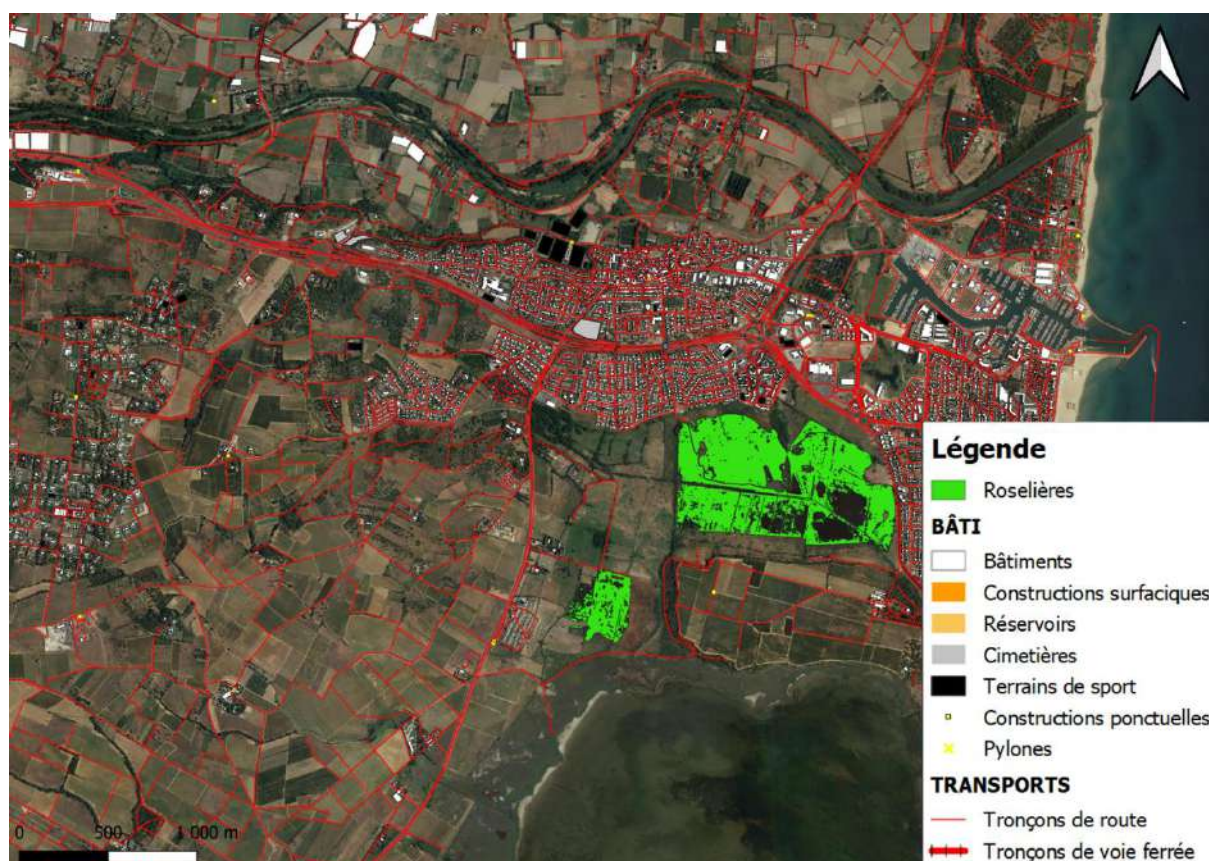
Méjean n°16



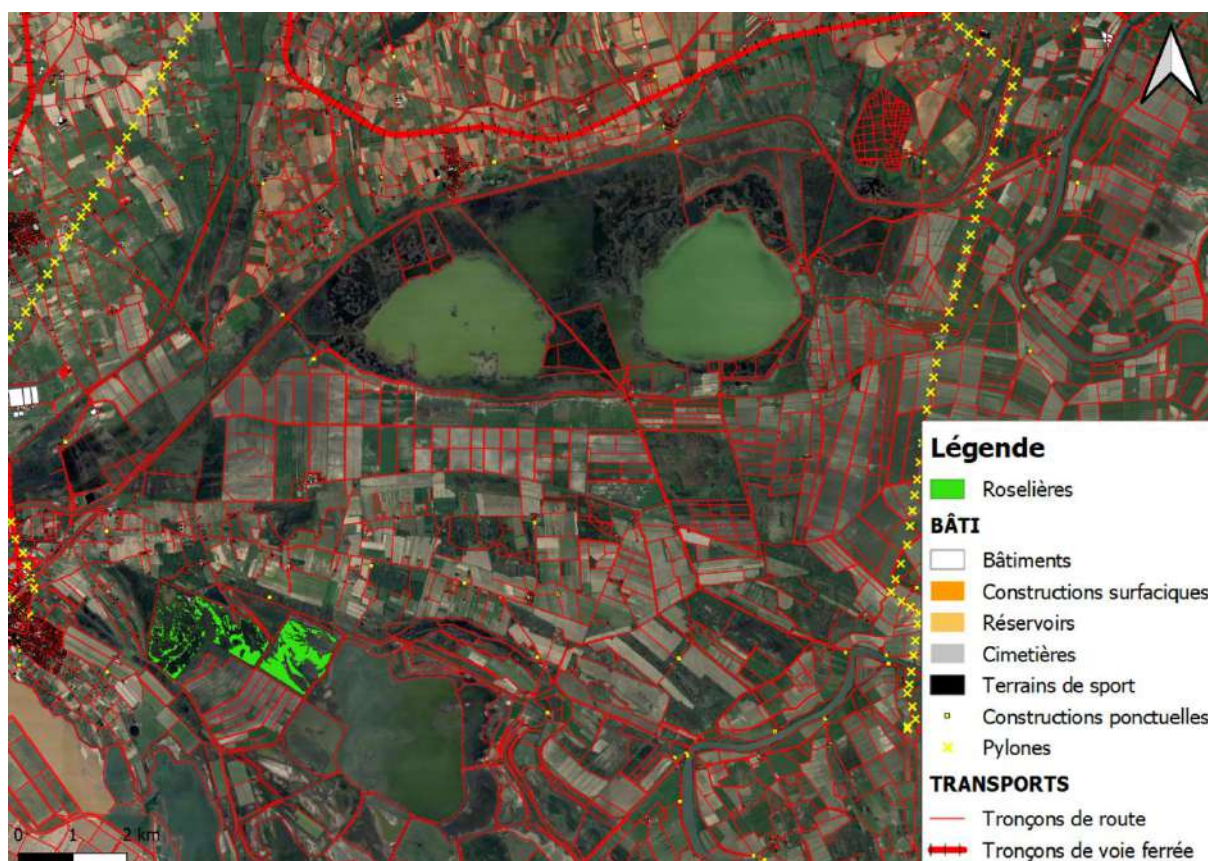
Castellas n°11



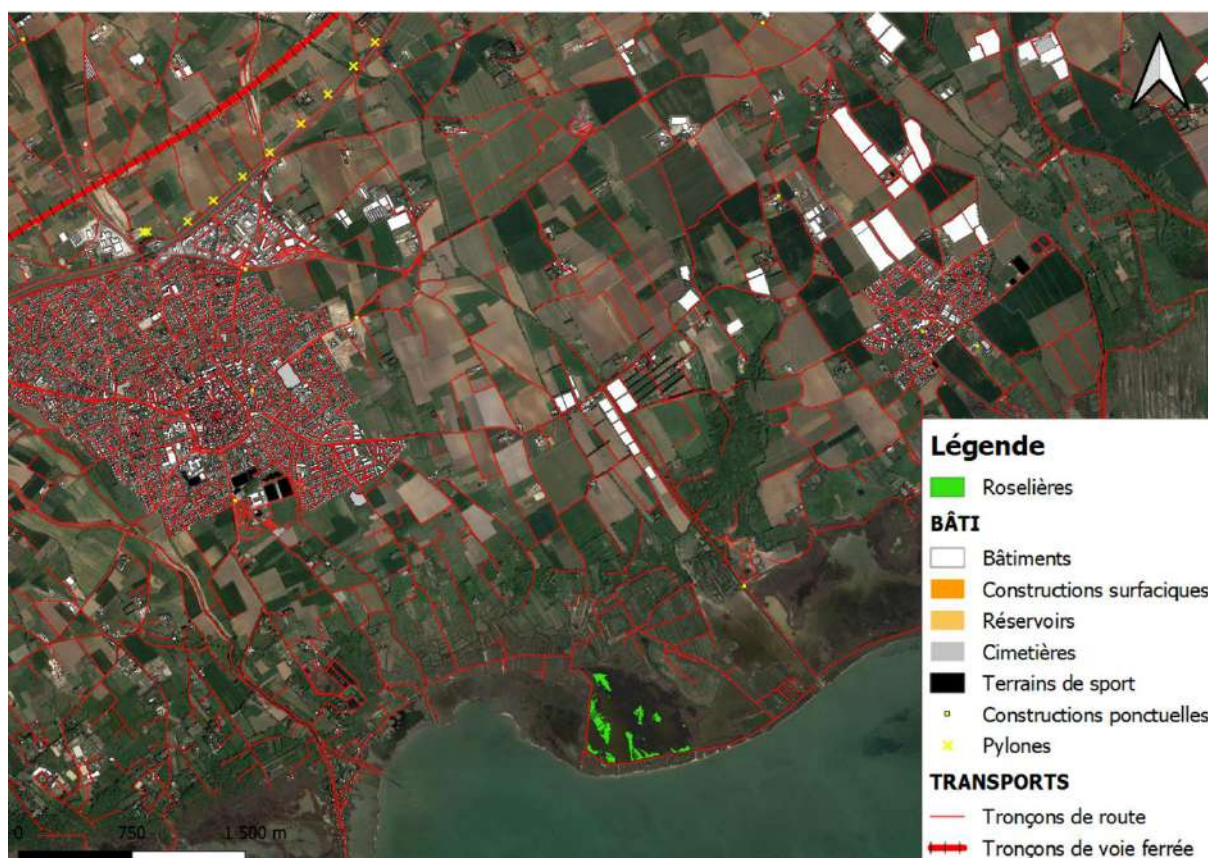
Canet n°1



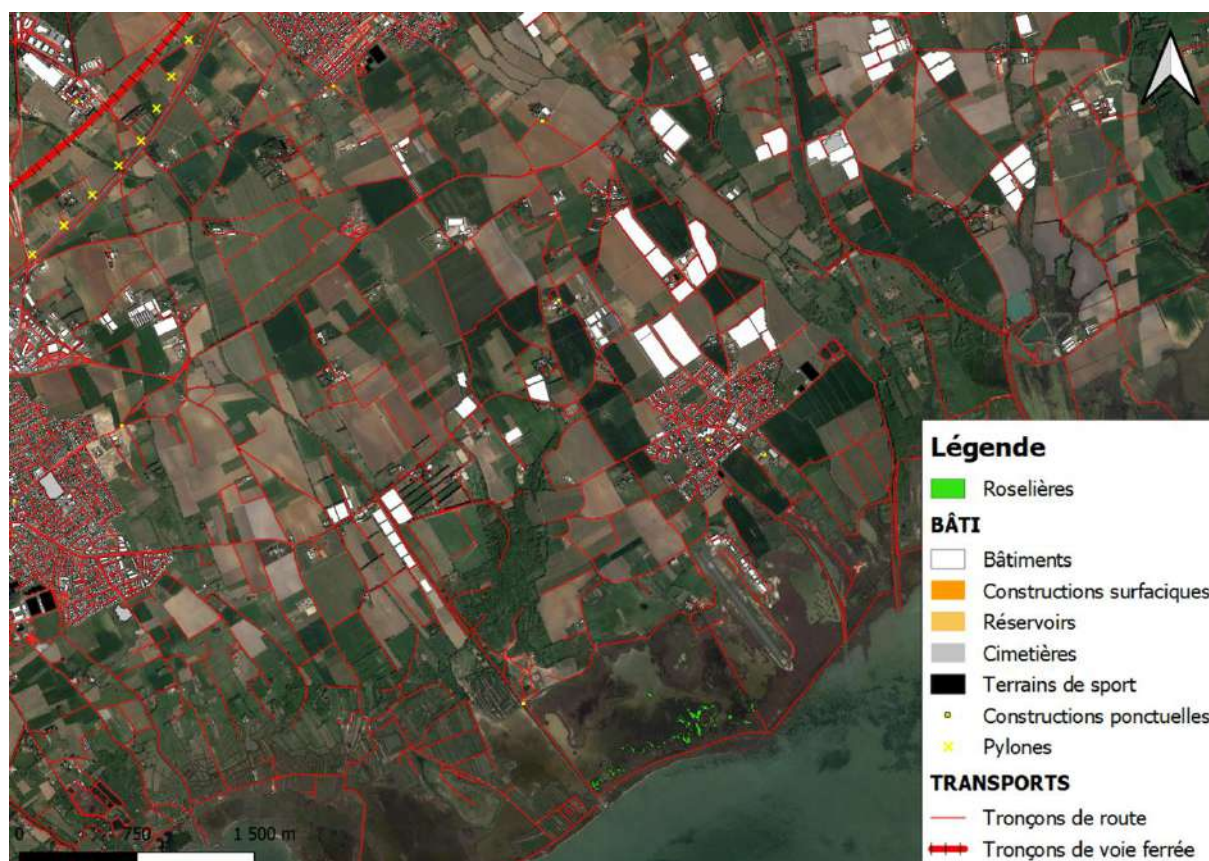
Canavérier n°27



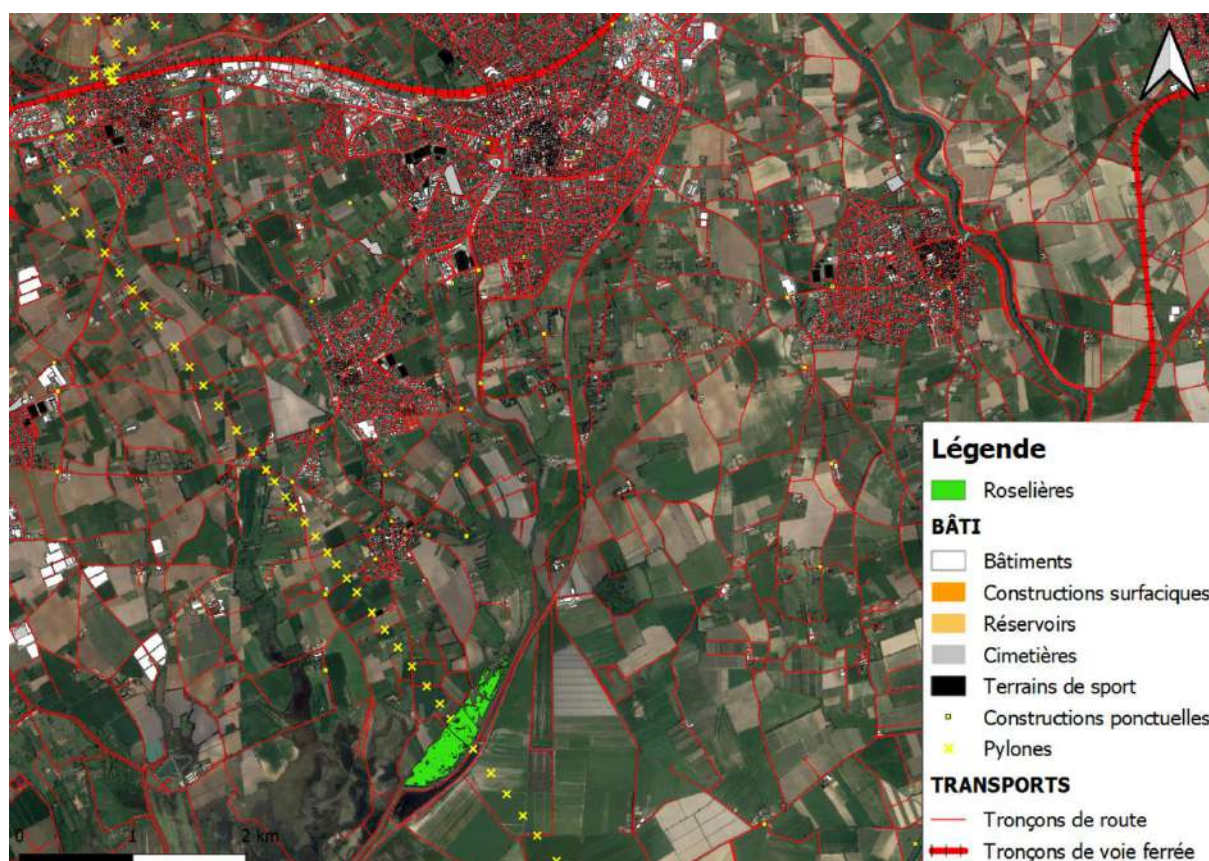
Marais de Plagnol n°19



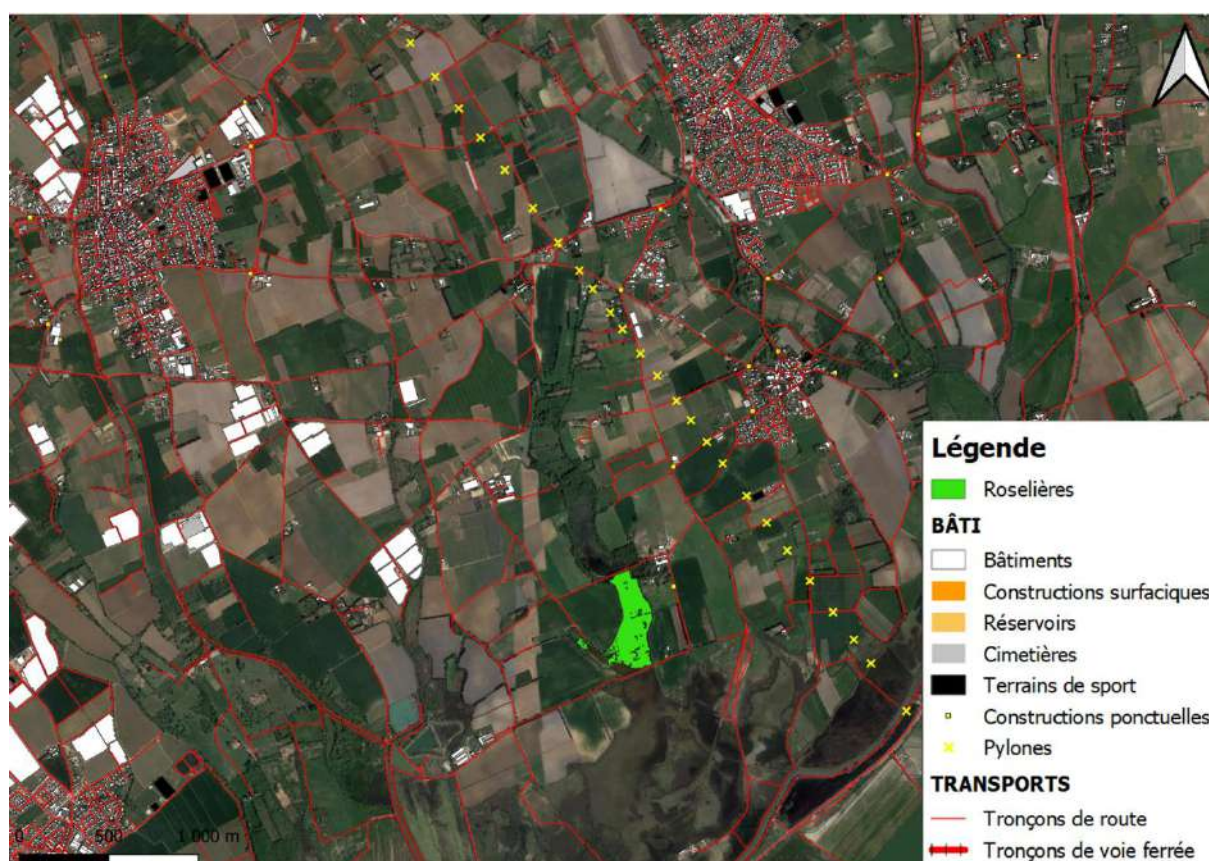
Cros Martin n°20



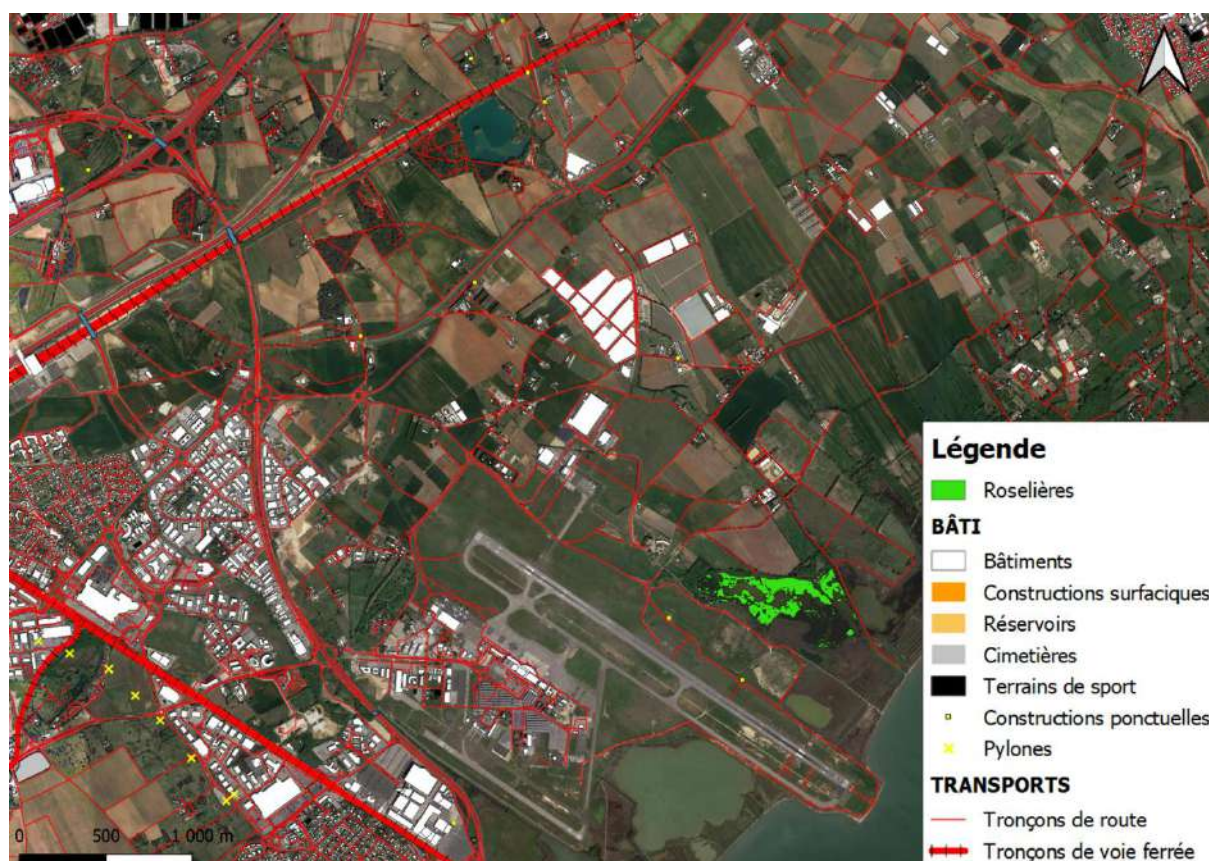
Saint Nazaire n°22

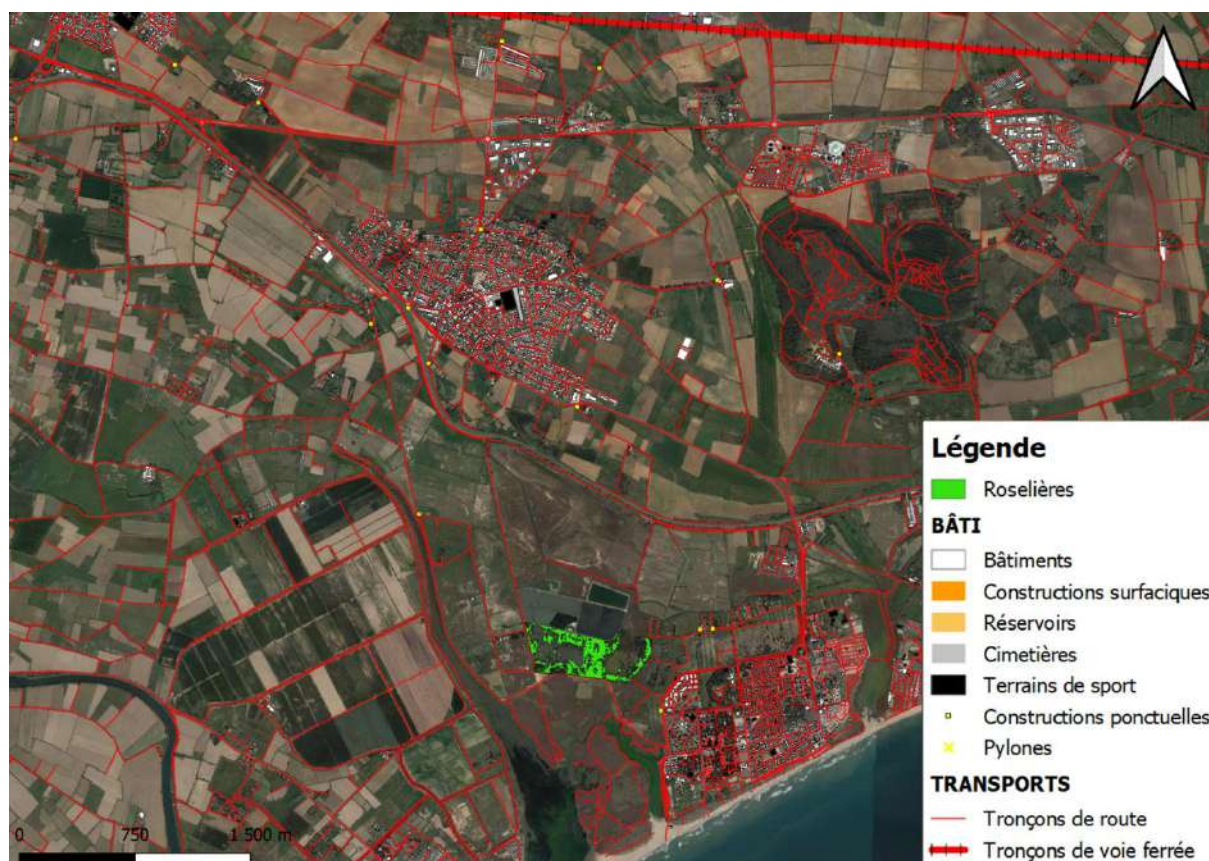


Benezet n°23

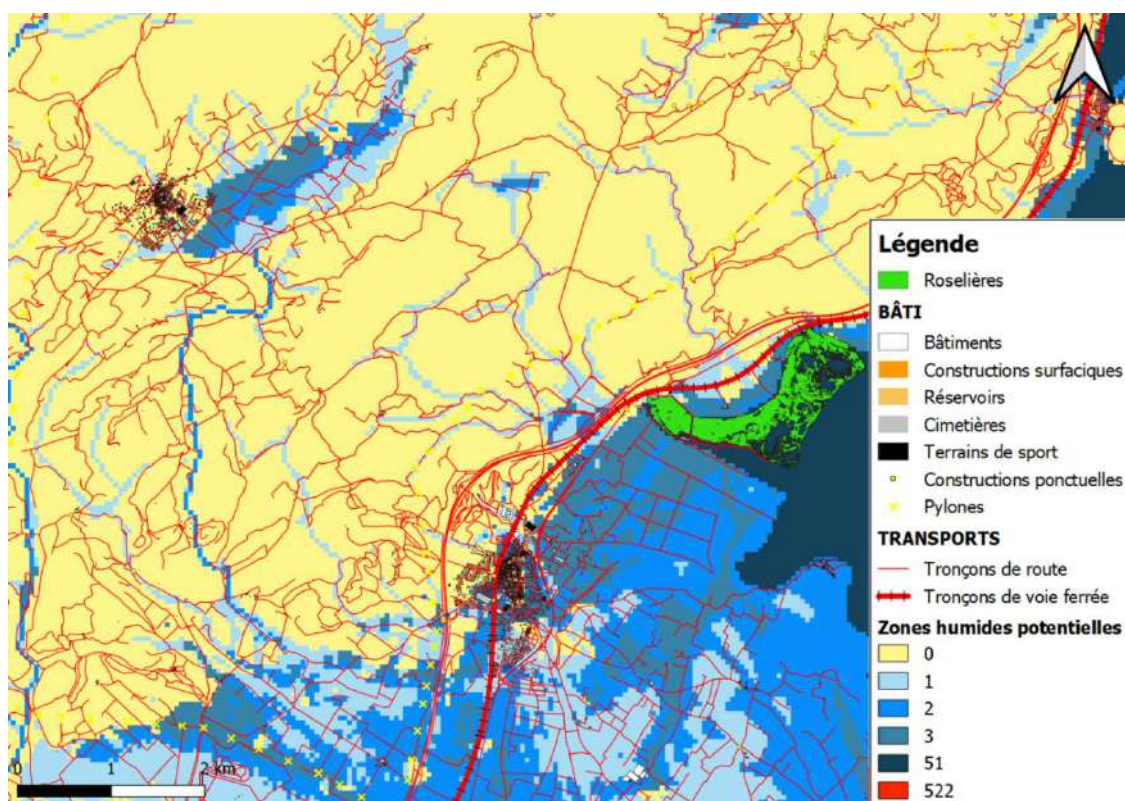


Saint Marcel n°17

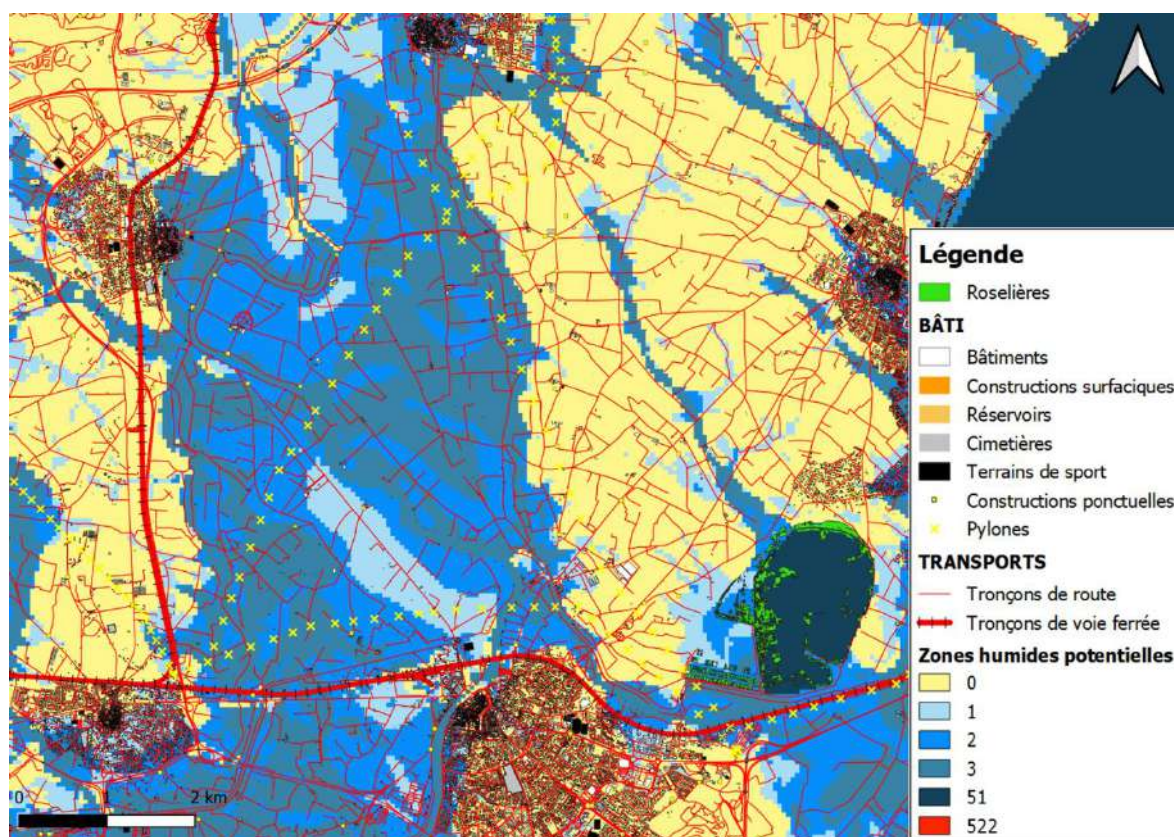




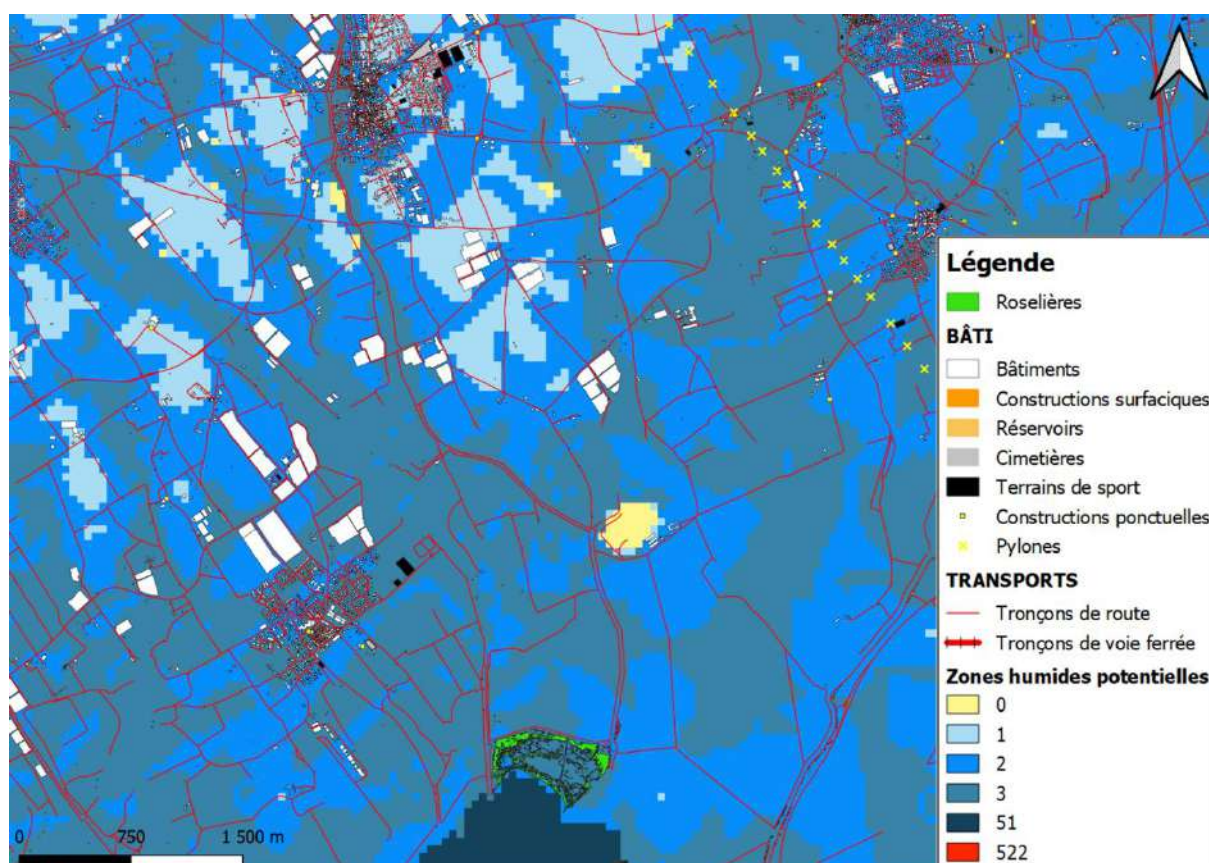
Annexe 4 – Cartographies de l’hydromorphie (zones humides potentielles) et du bâti des sites d’études
Sagnes d’Opoul n°2



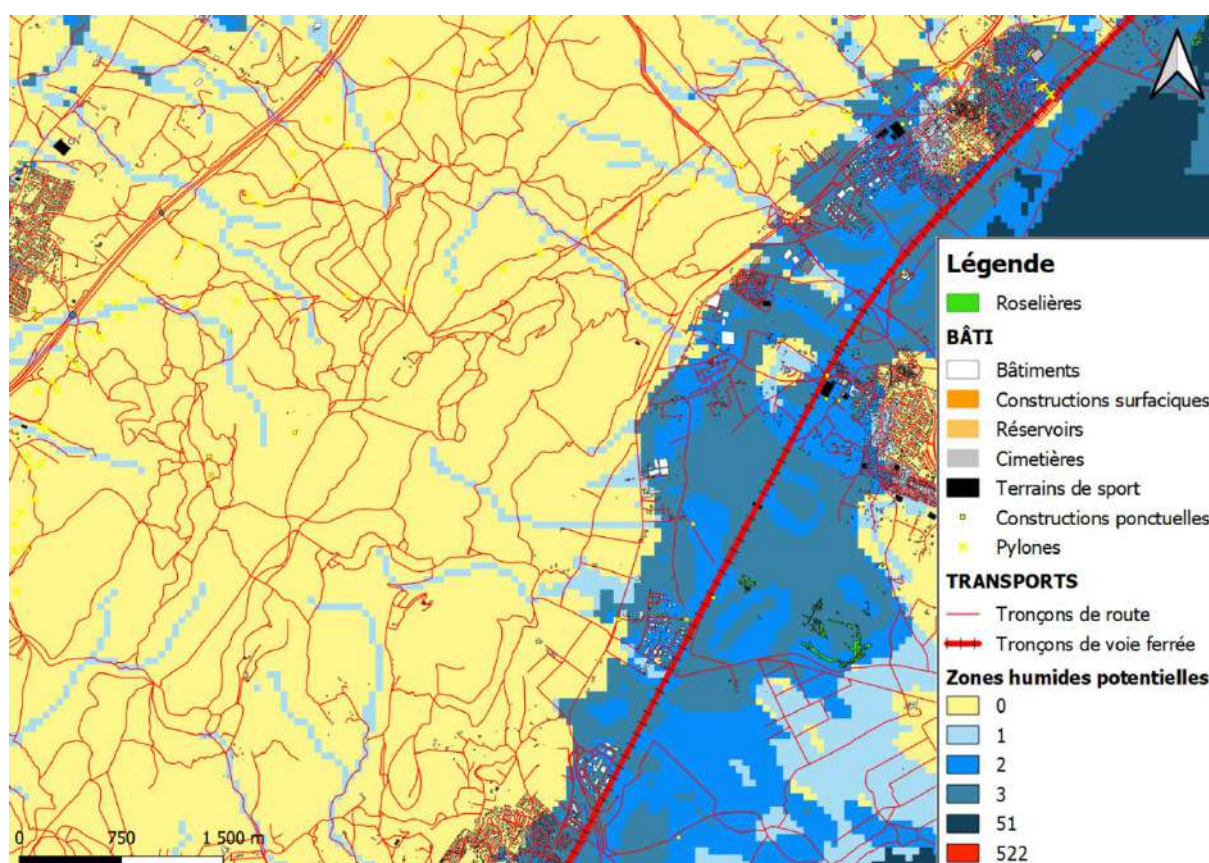
Bagnas n°10



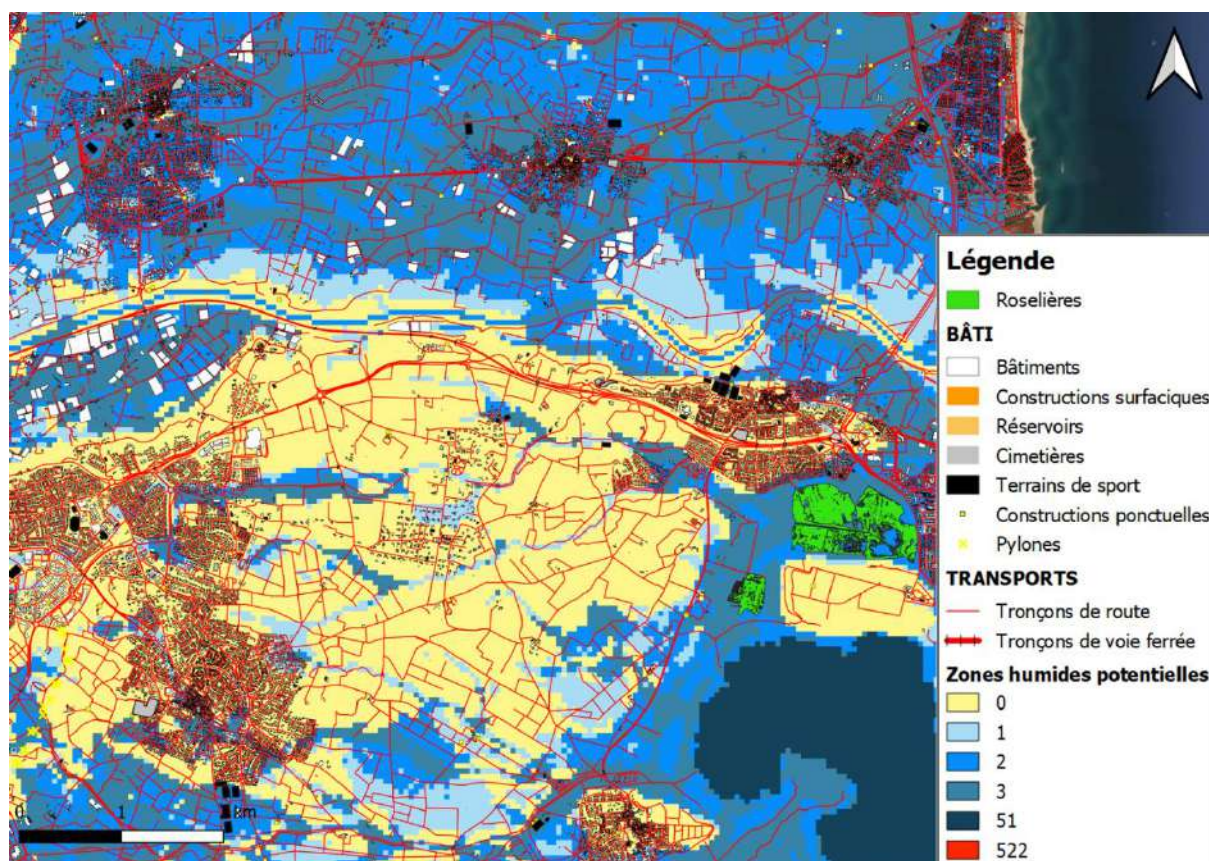
Pierre Fiche n°21



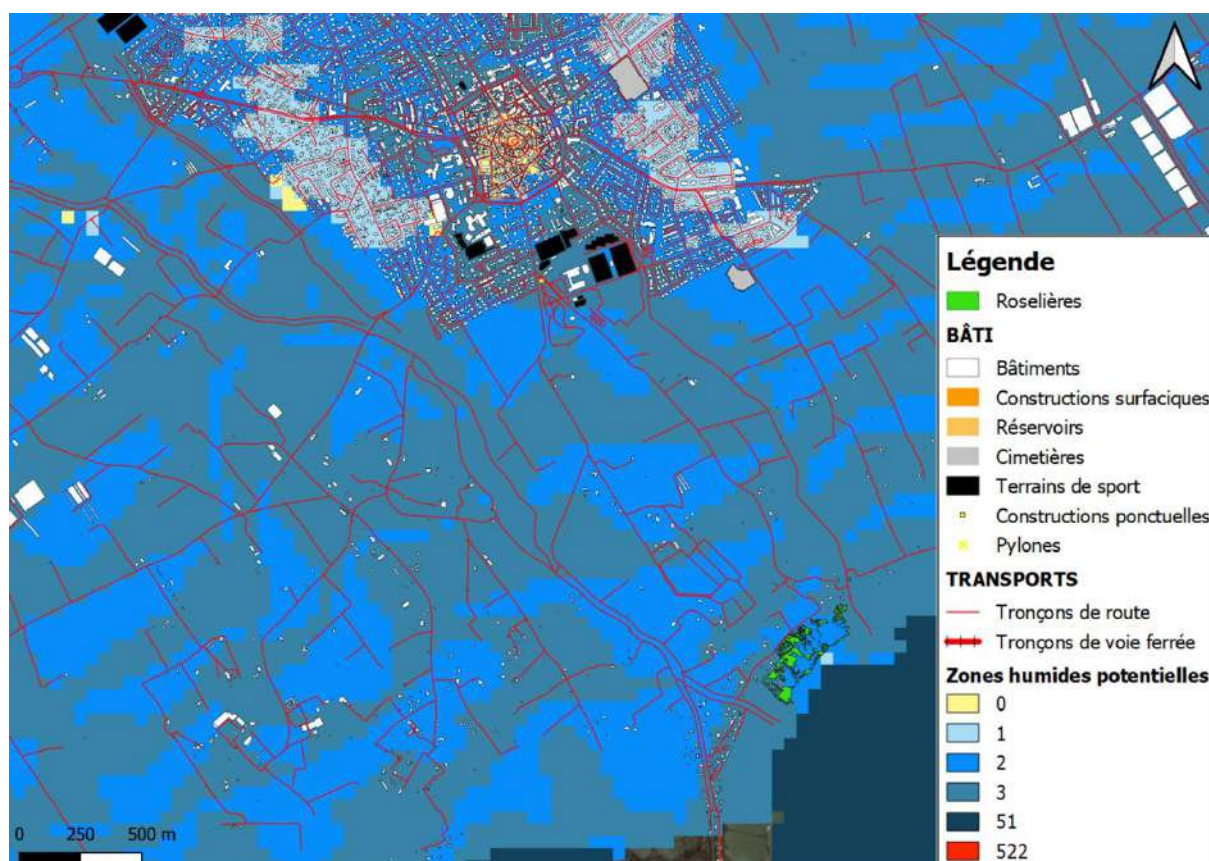
Grande Palude n°13



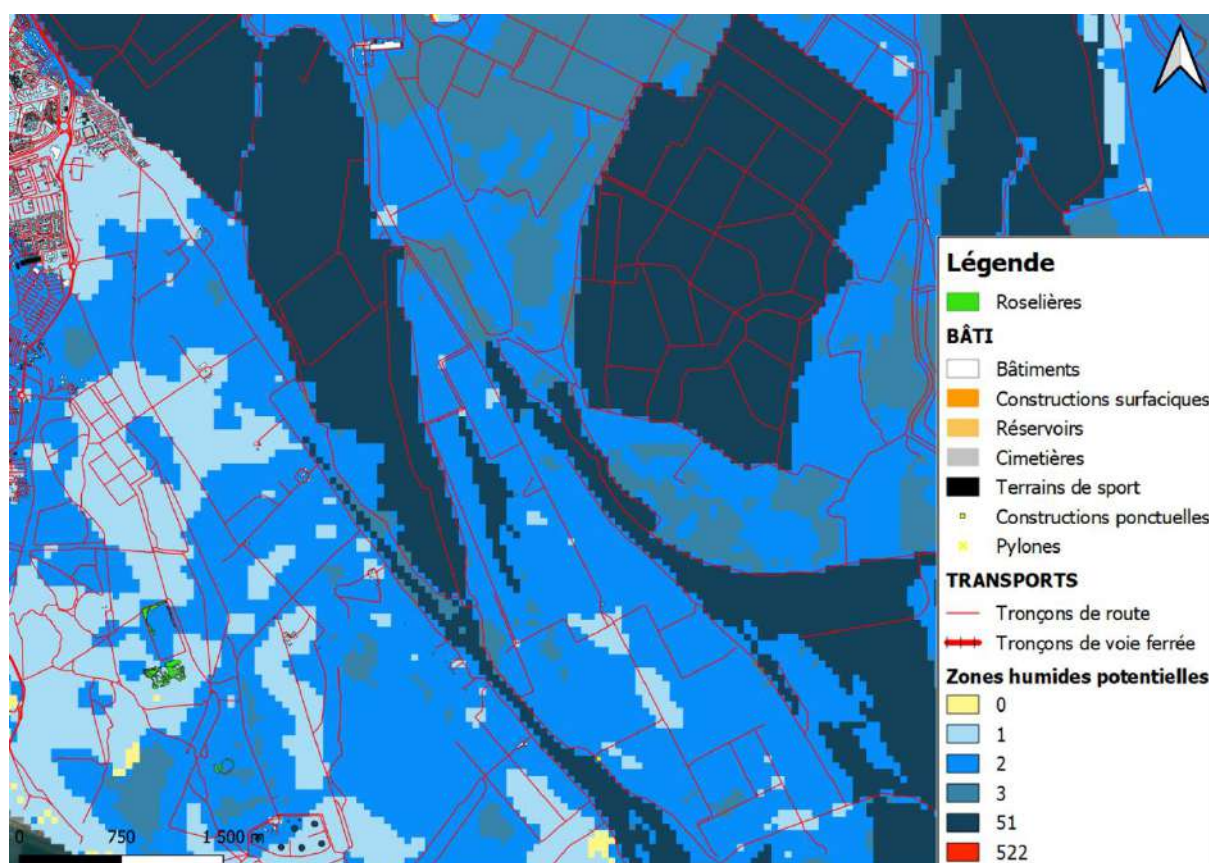
Canet n°1



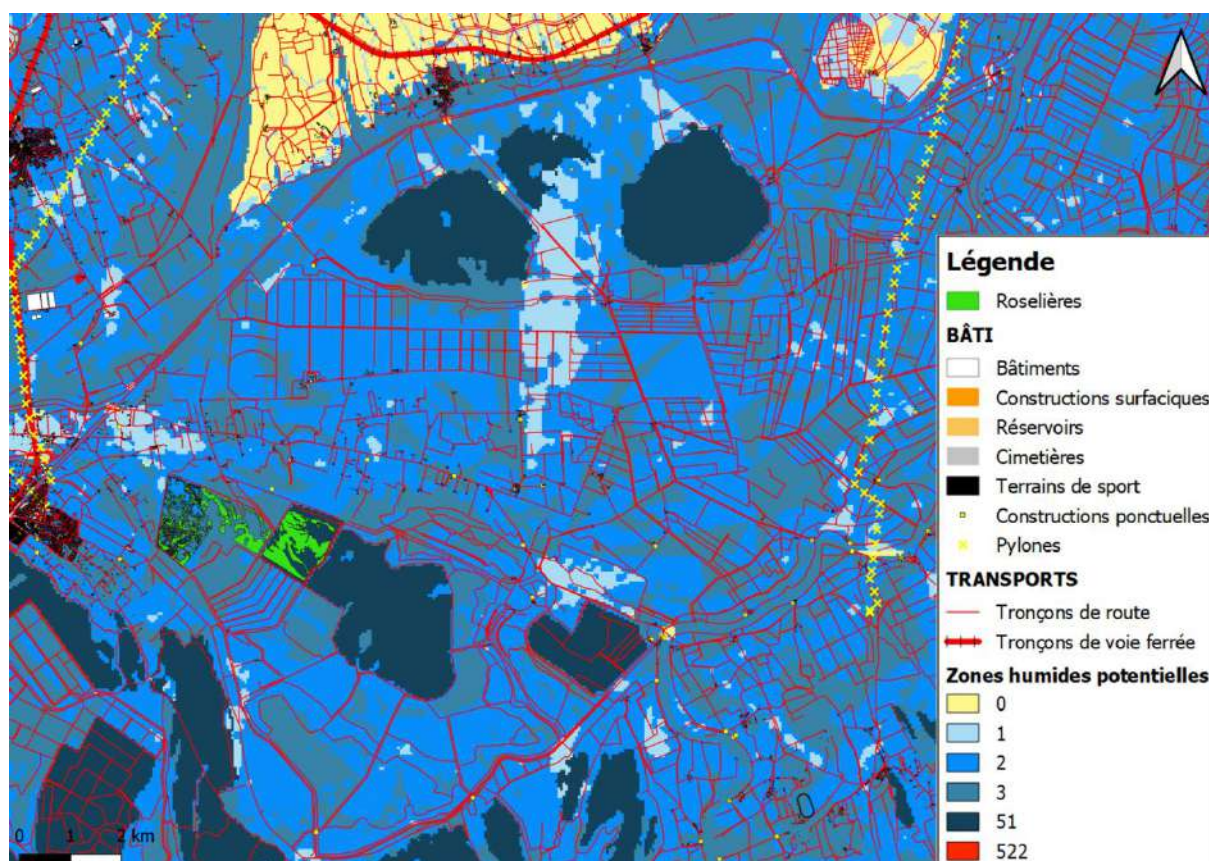
Bentenac n°18



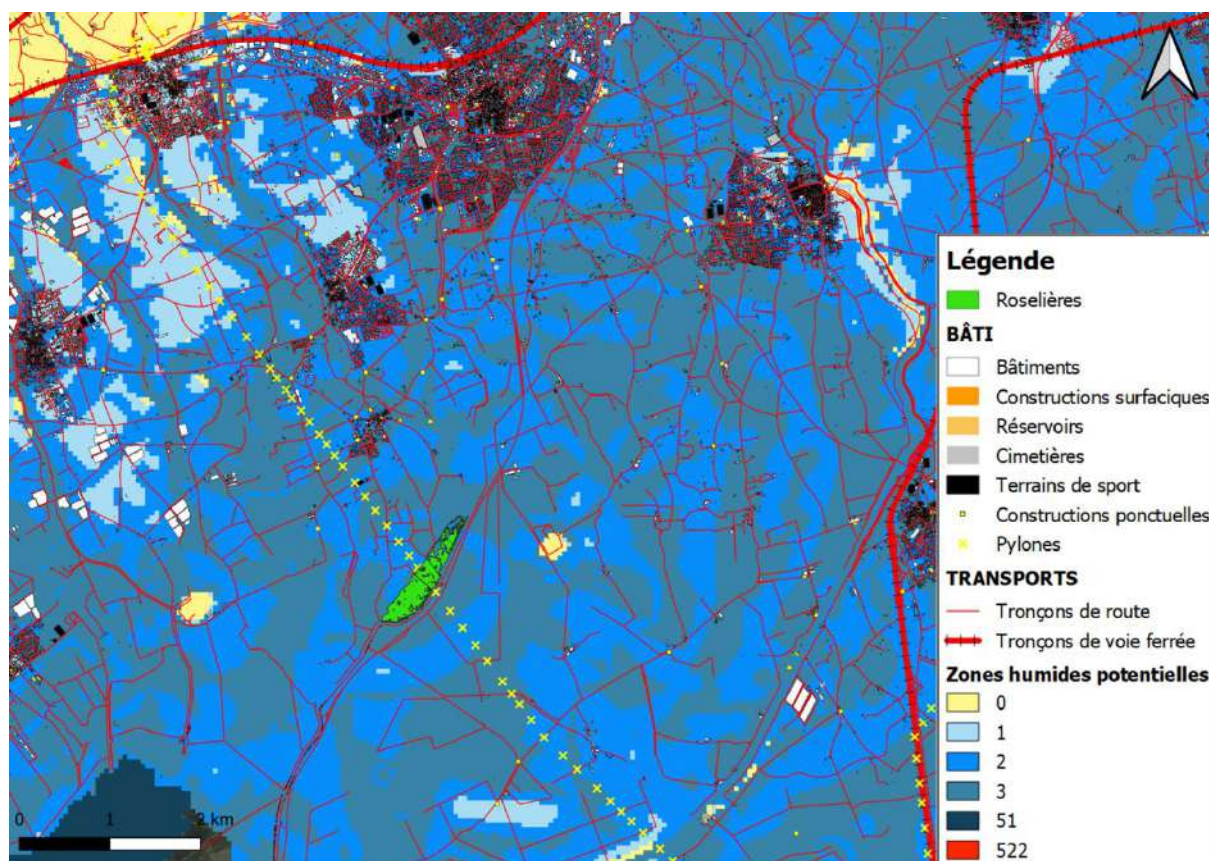
Grau du roi n°24



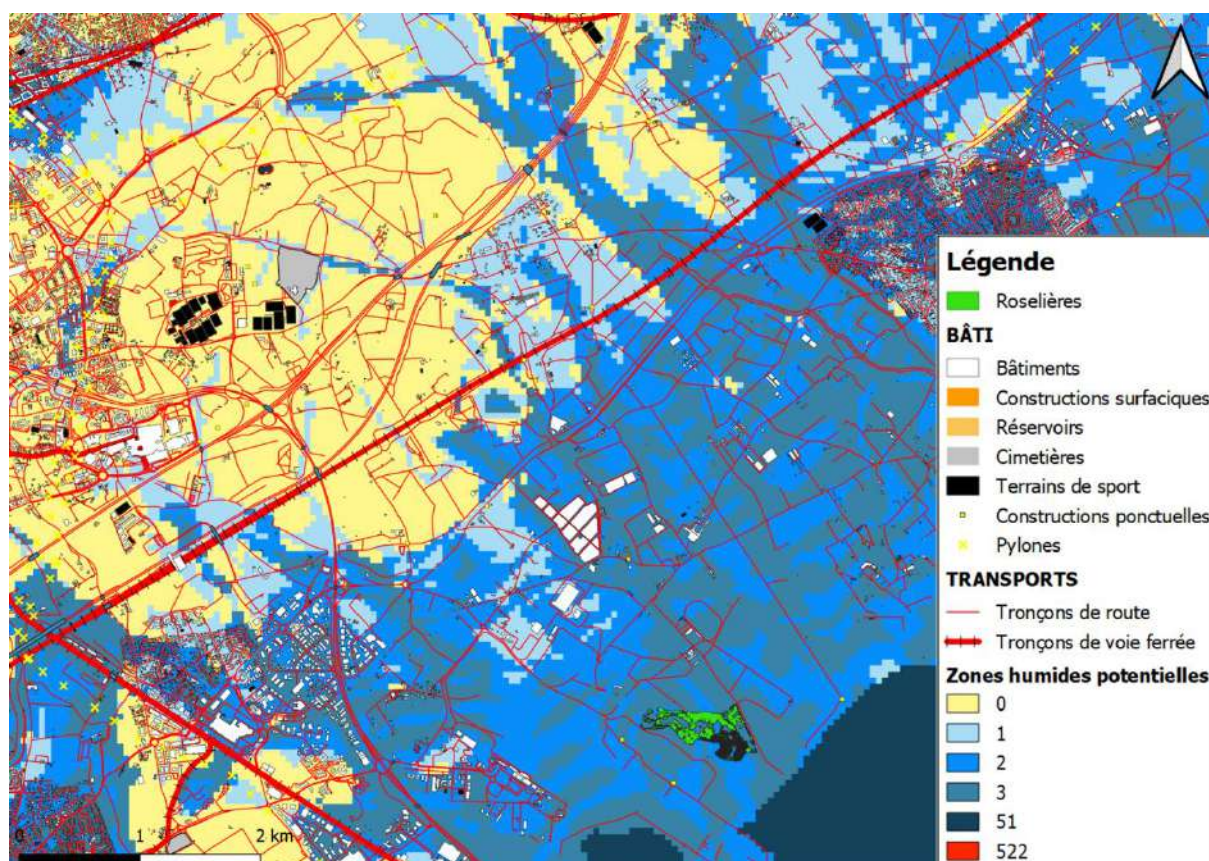
Canavérier n°27



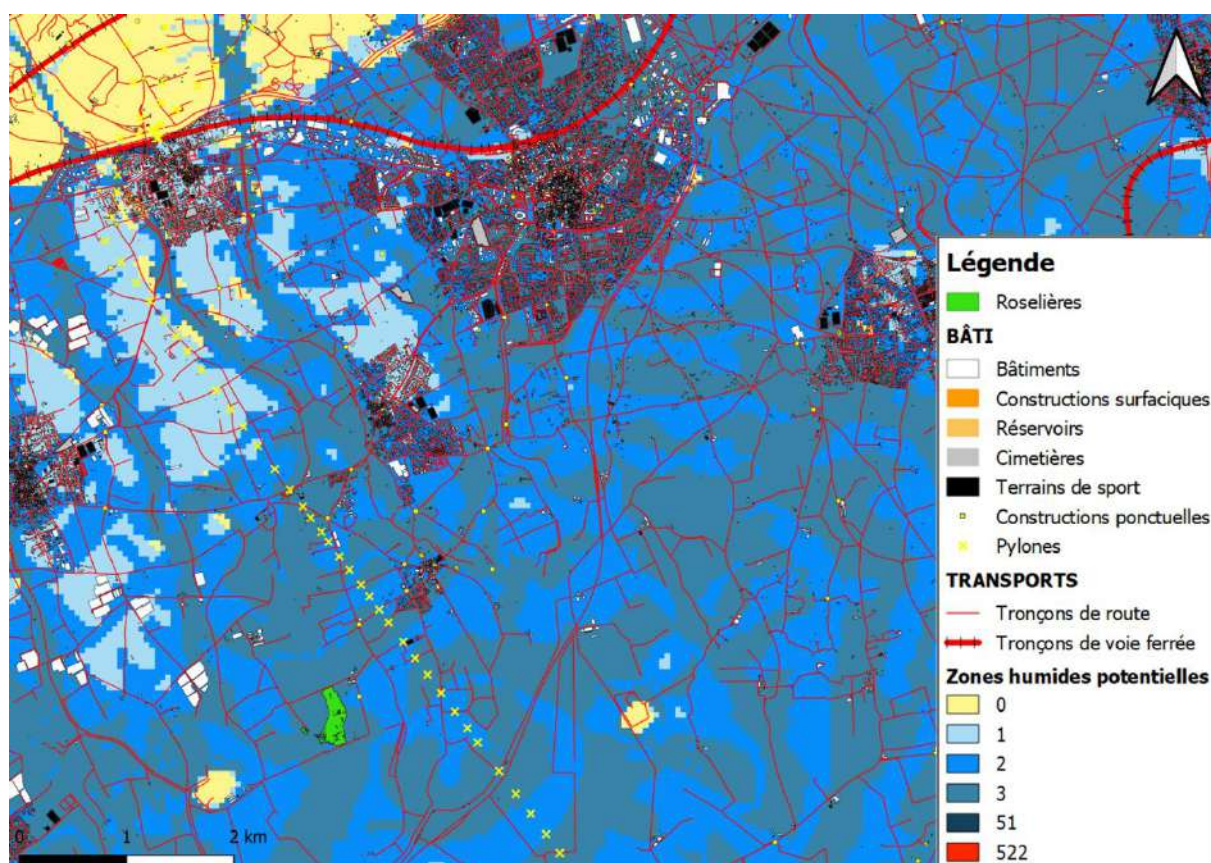
Saint Nazaire n°22



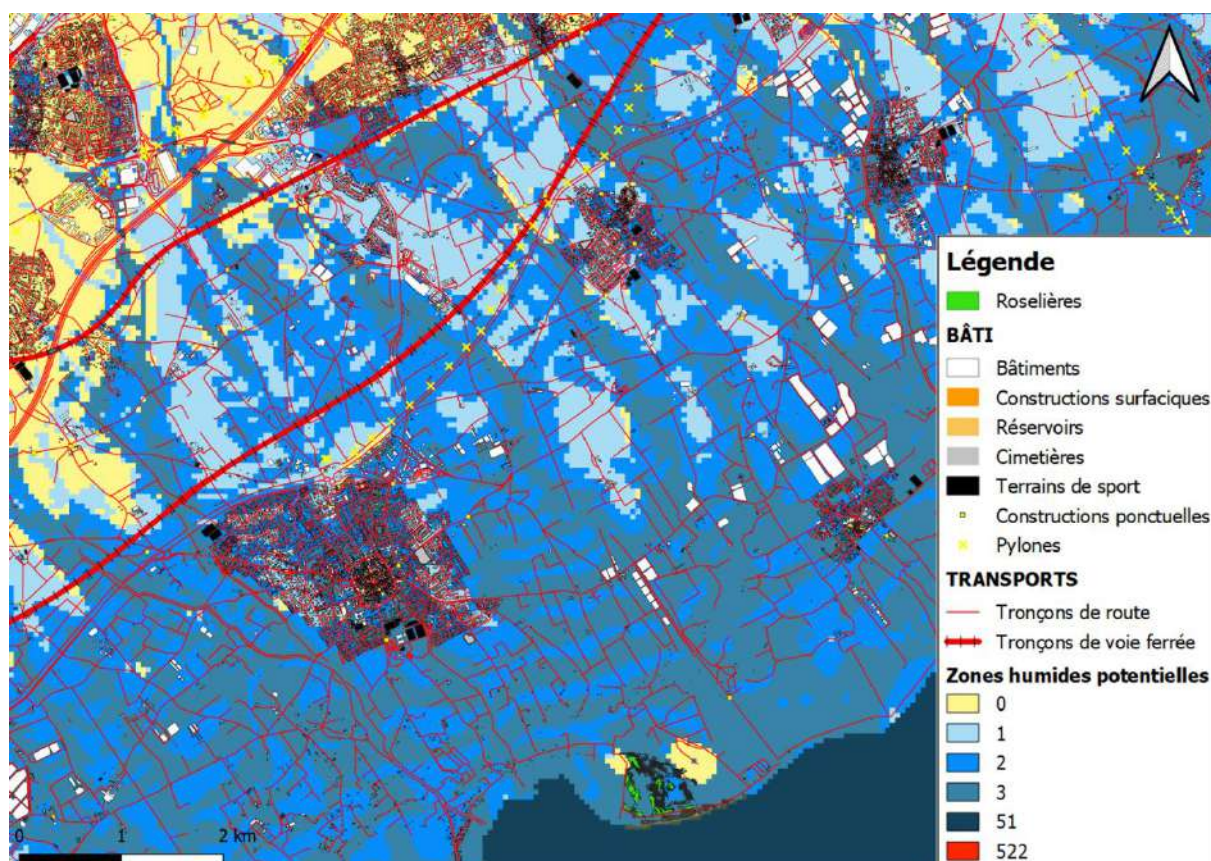
Saint Marcel n°17



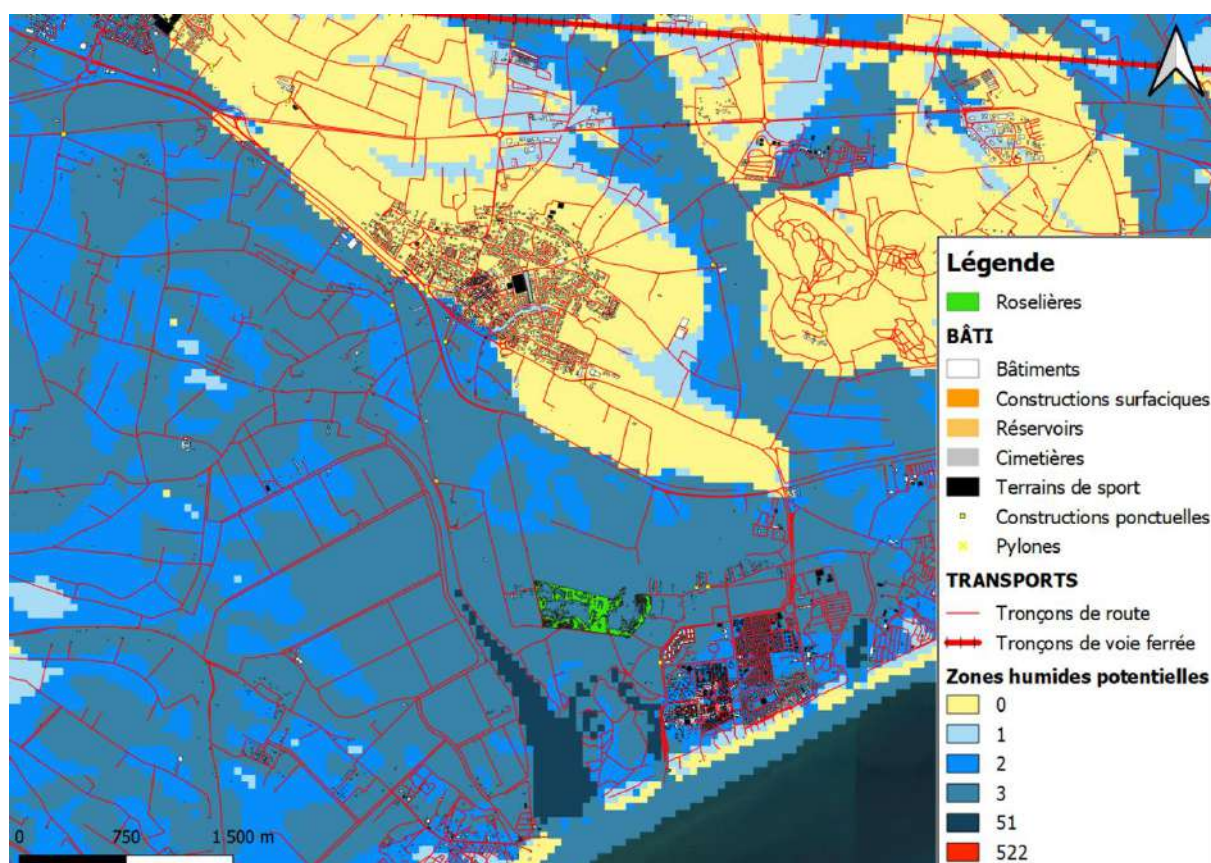
Benezet n°23



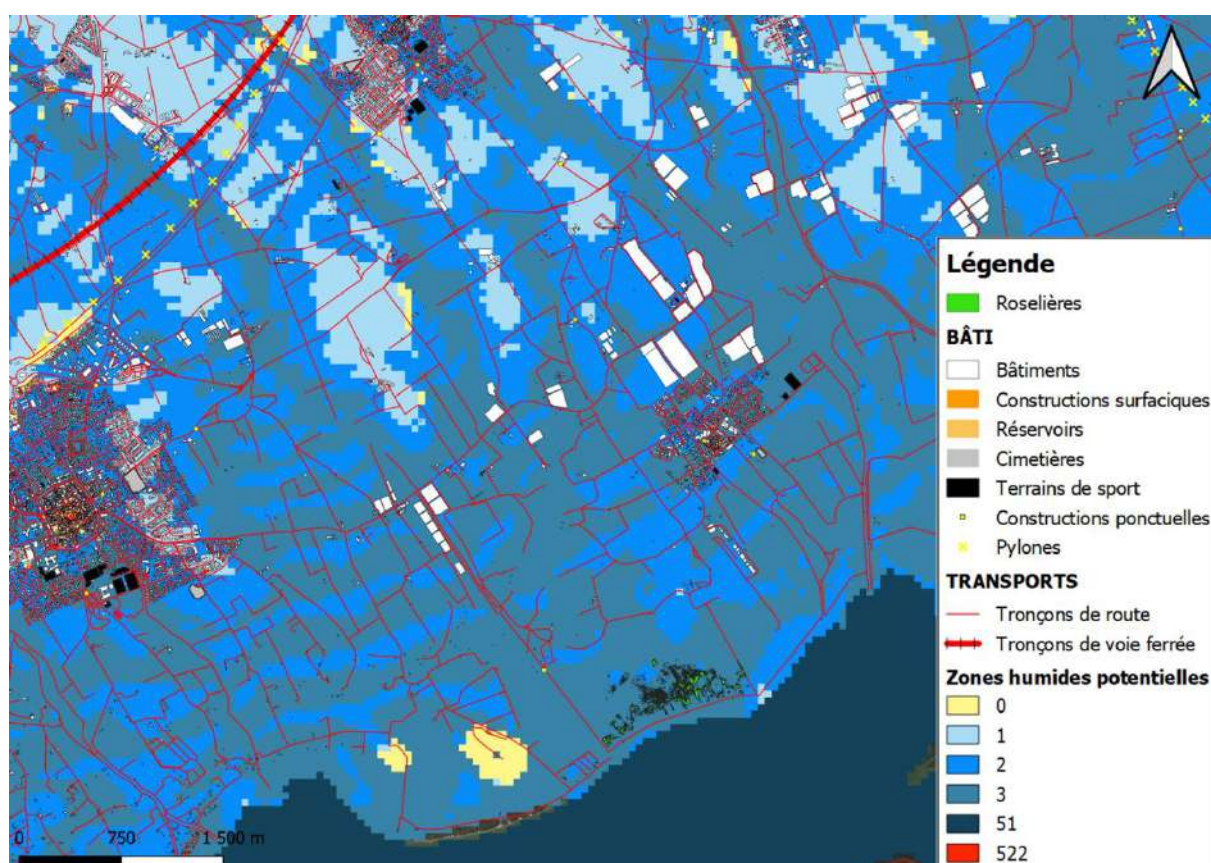
Marais de Plagnol n°19



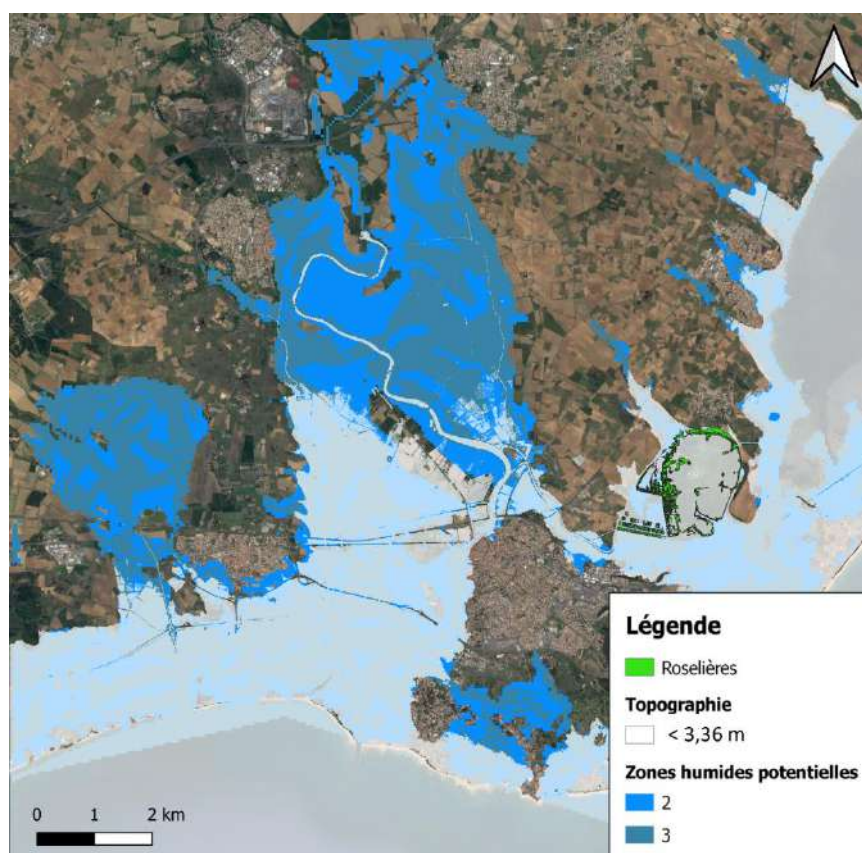
Grande Maïre n°9



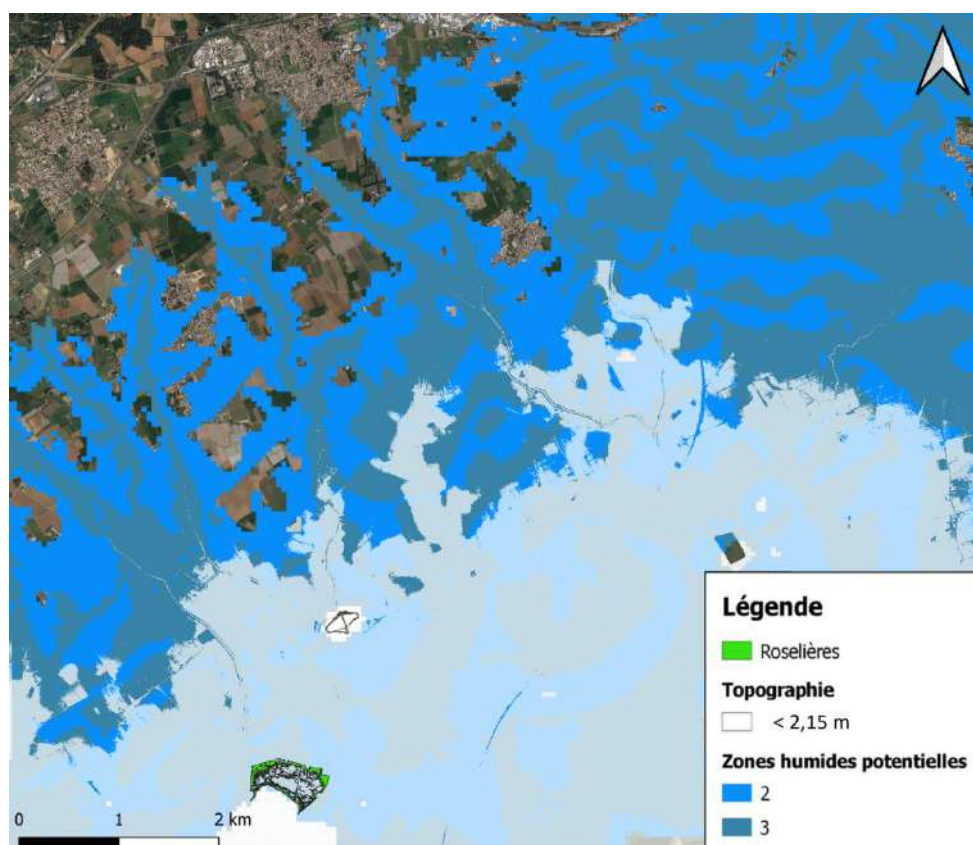
Cros Martin n°20

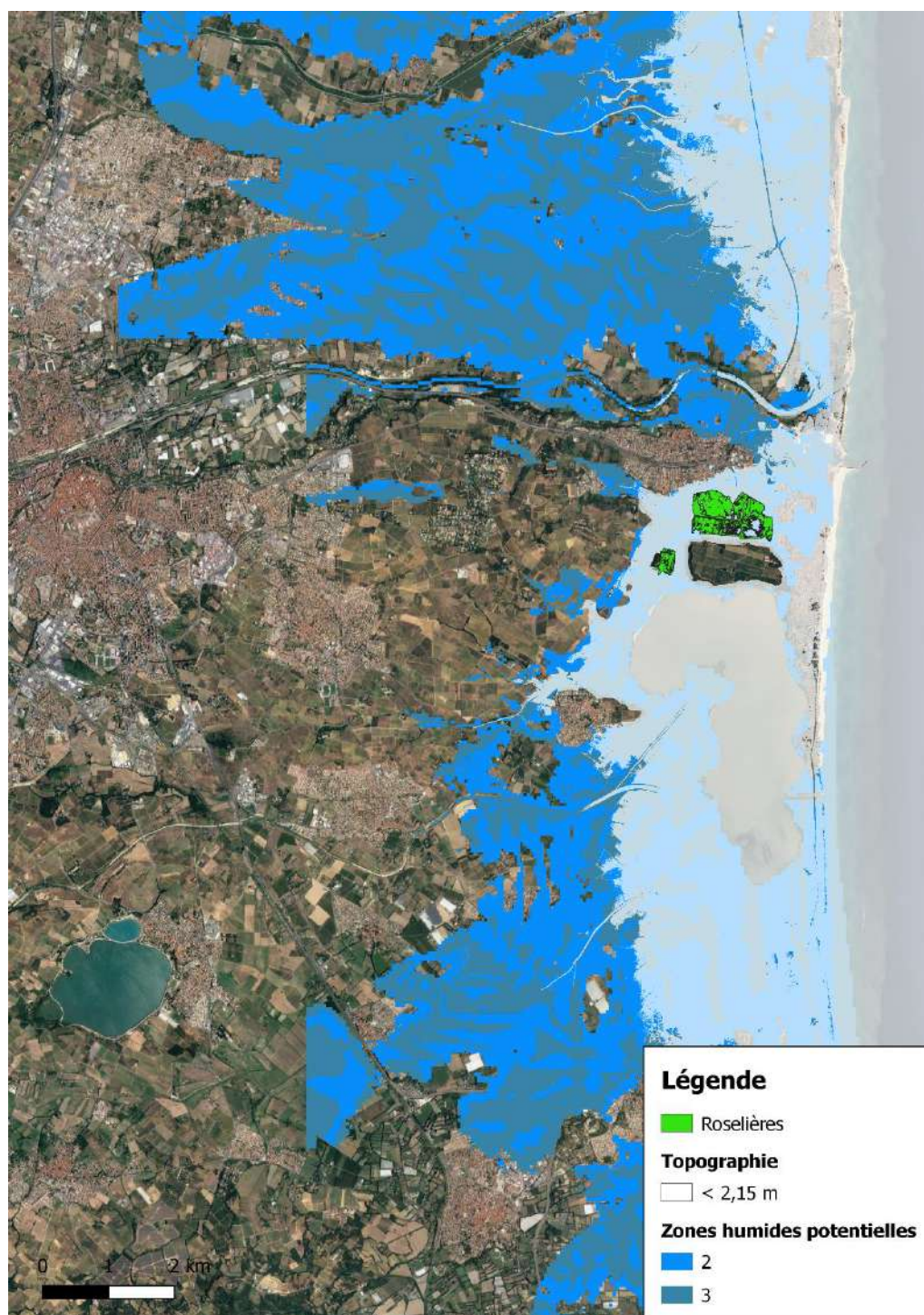


Annexe 5 – Cartographie de délimitation des zones humides potentielles selon l'altitude minimale de recherche des secteurs de repli
Bagnas n°10

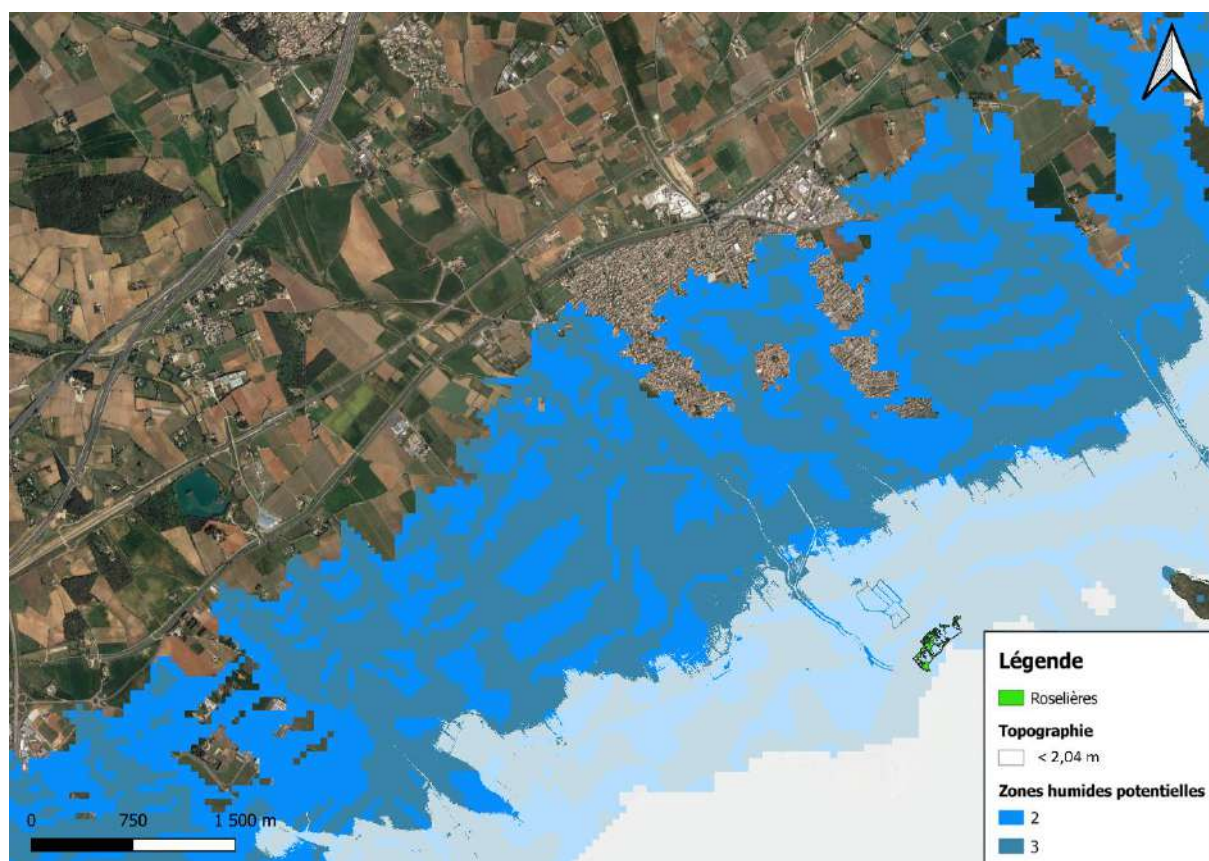


Pierre Fiche n°21

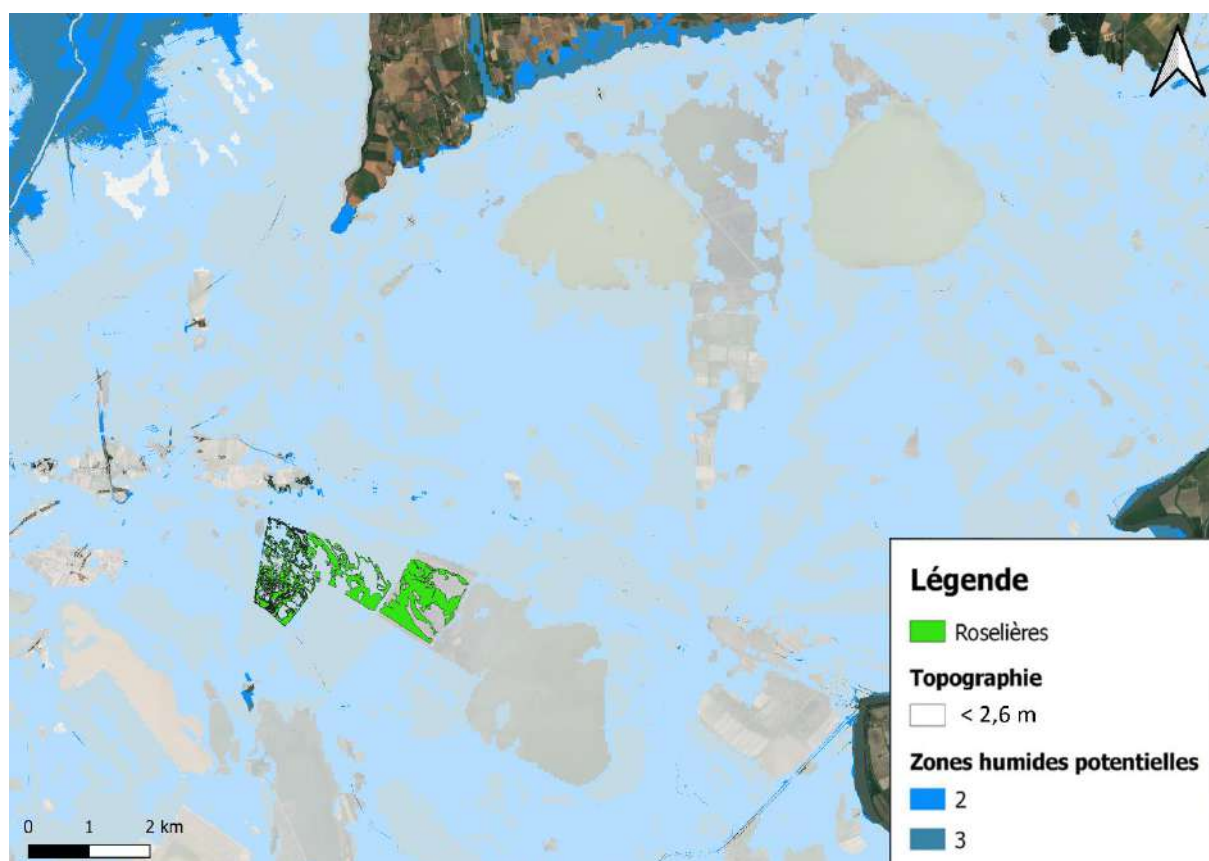




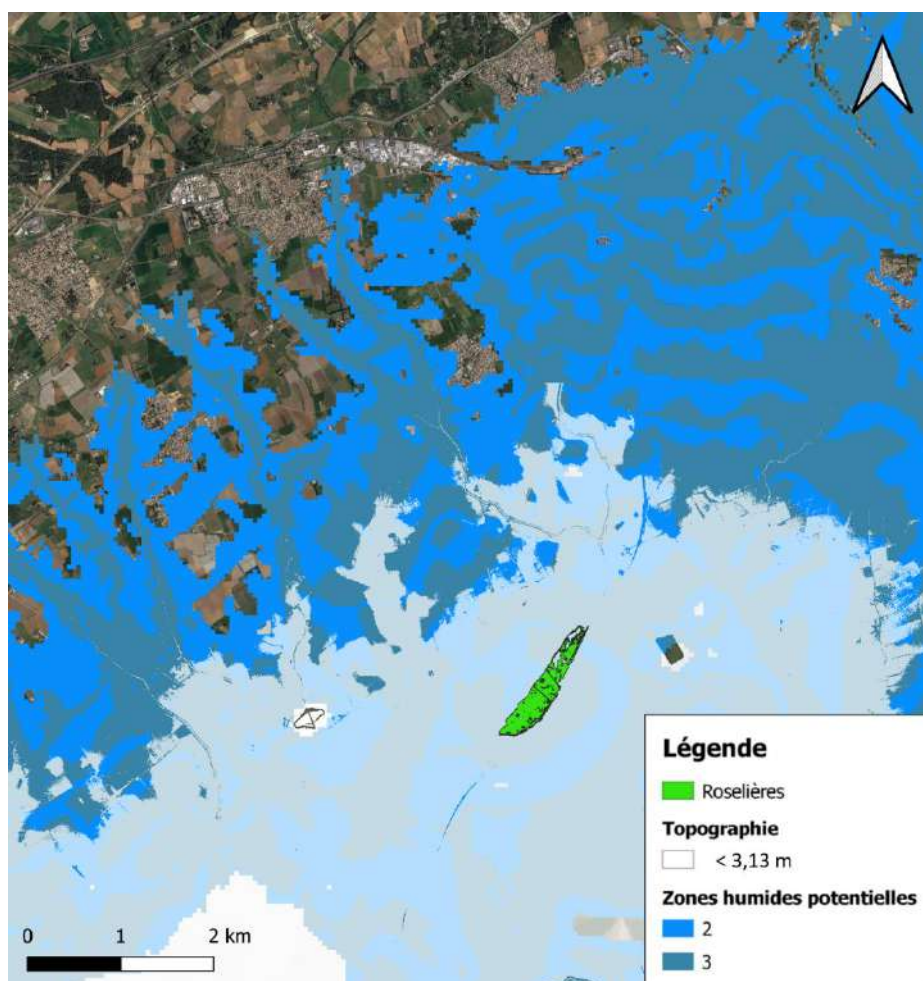
Bentenac n°18



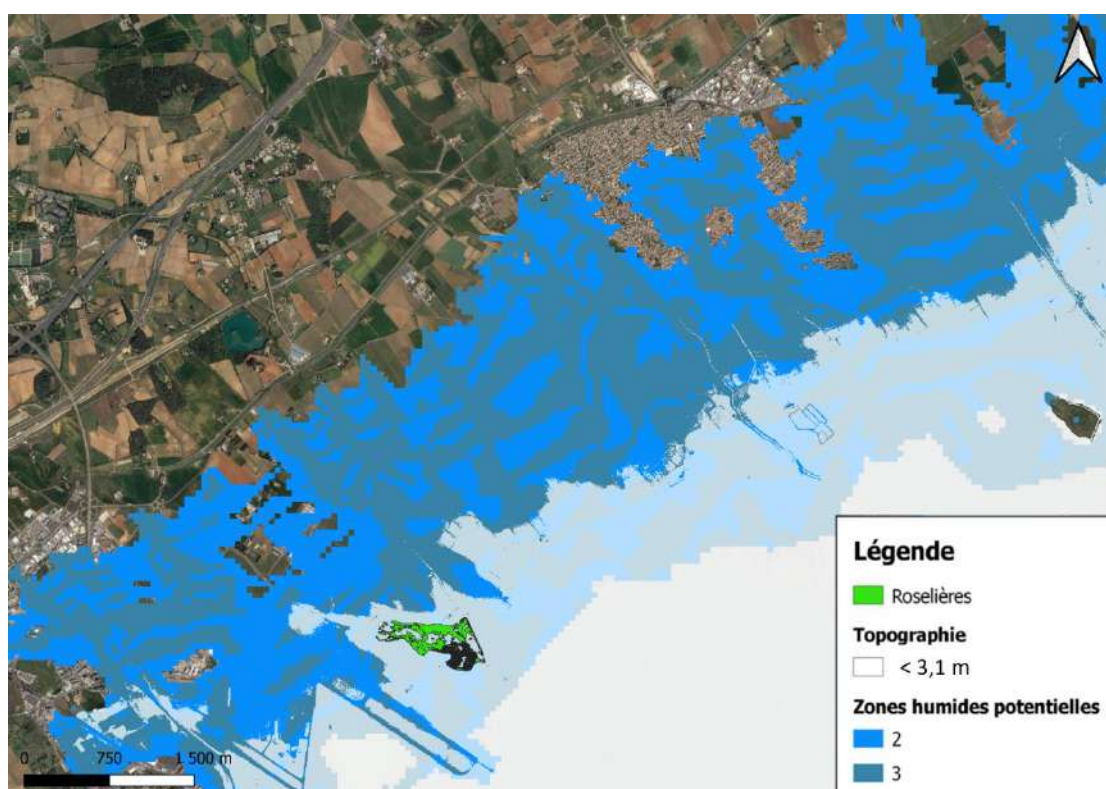
Canavérier n°27



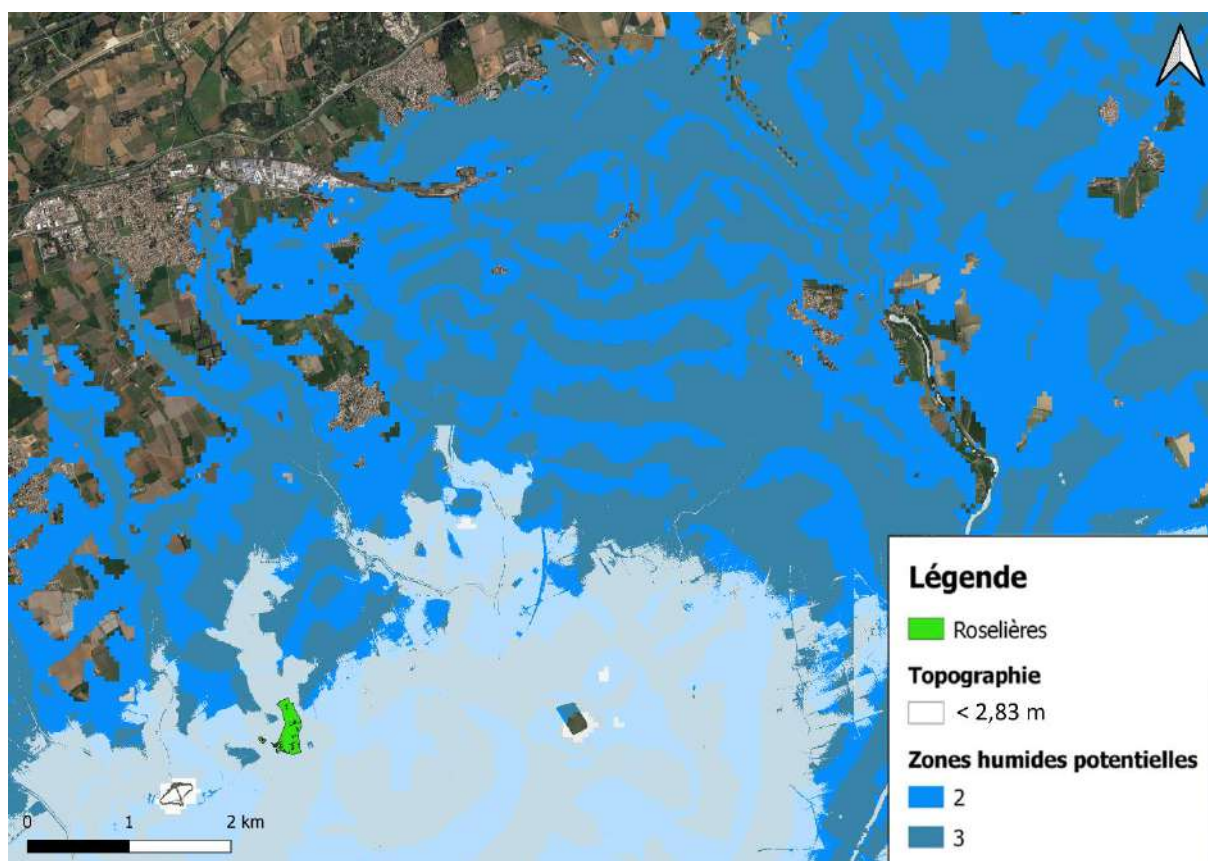
Saint Nazaire n°22



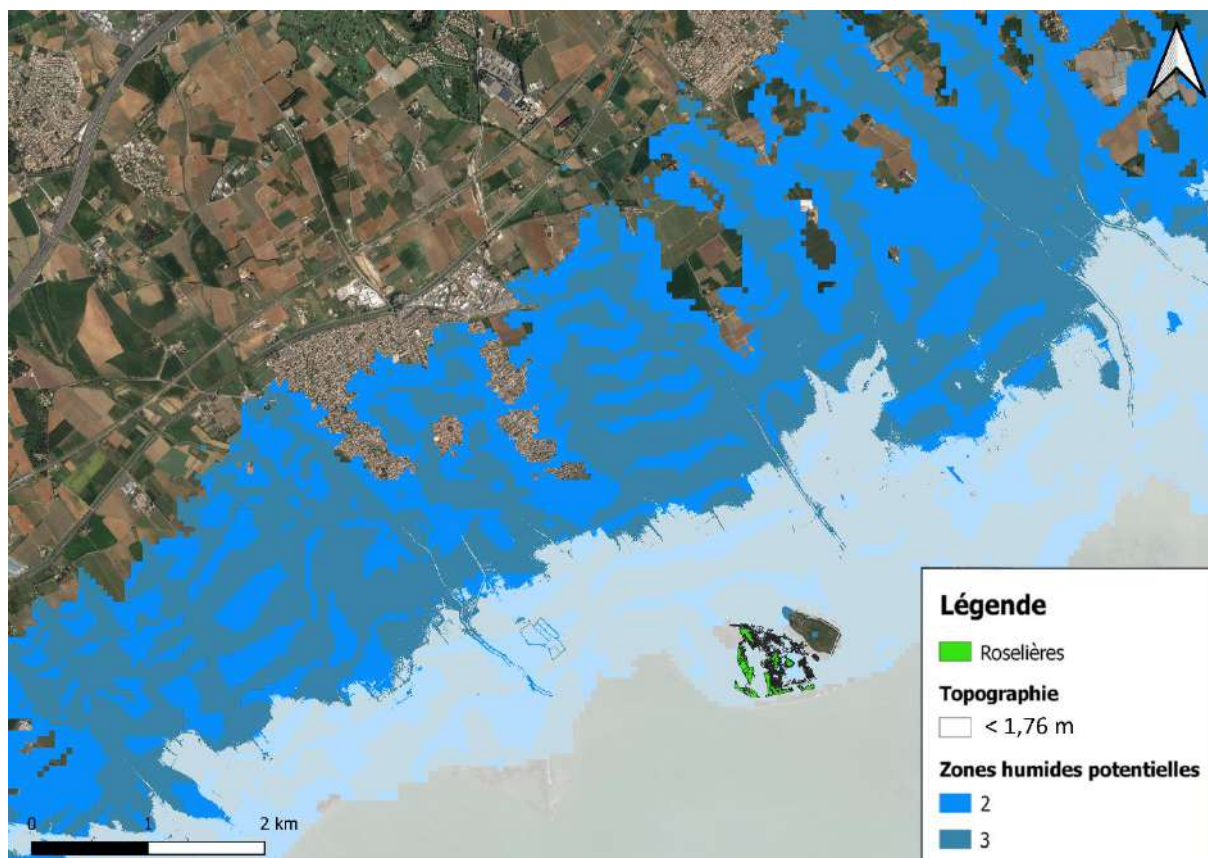
Saint Marcel n°17



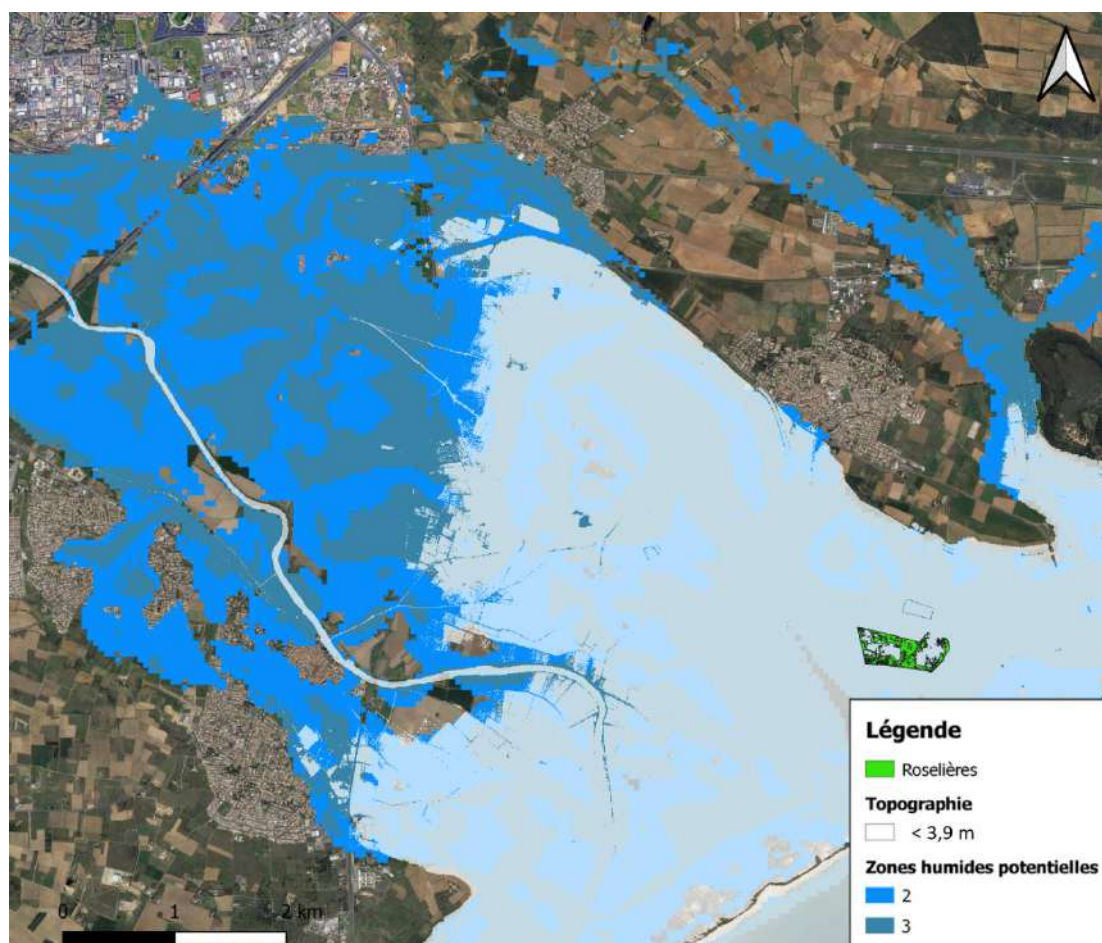
Benezet n°23



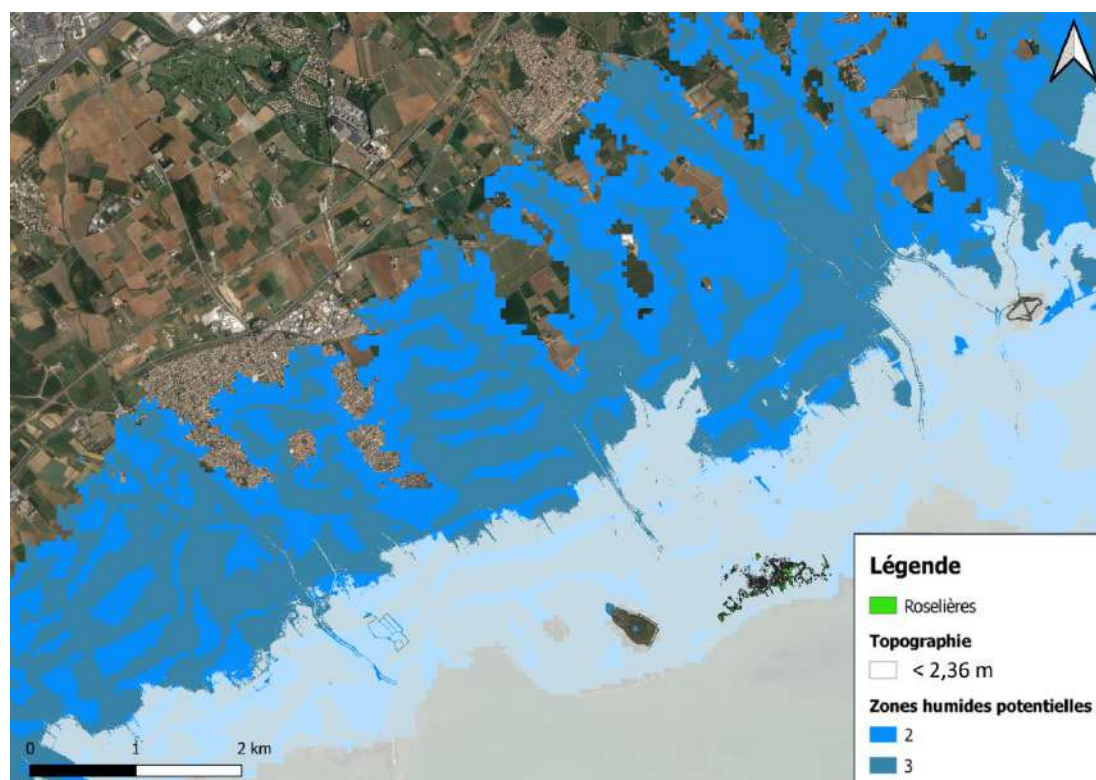
Marais de Plagnol n°19



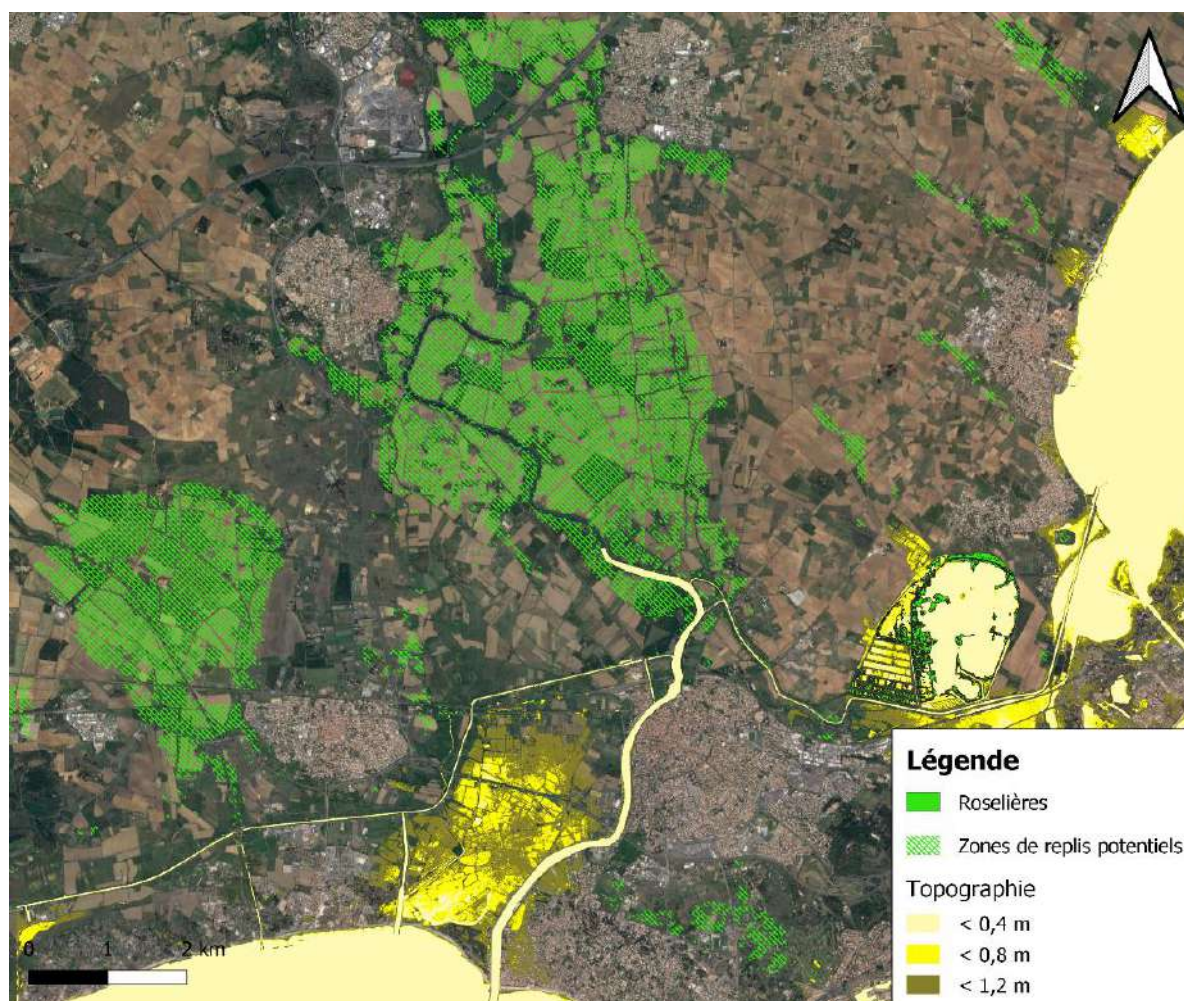
Grande Maïre n°9

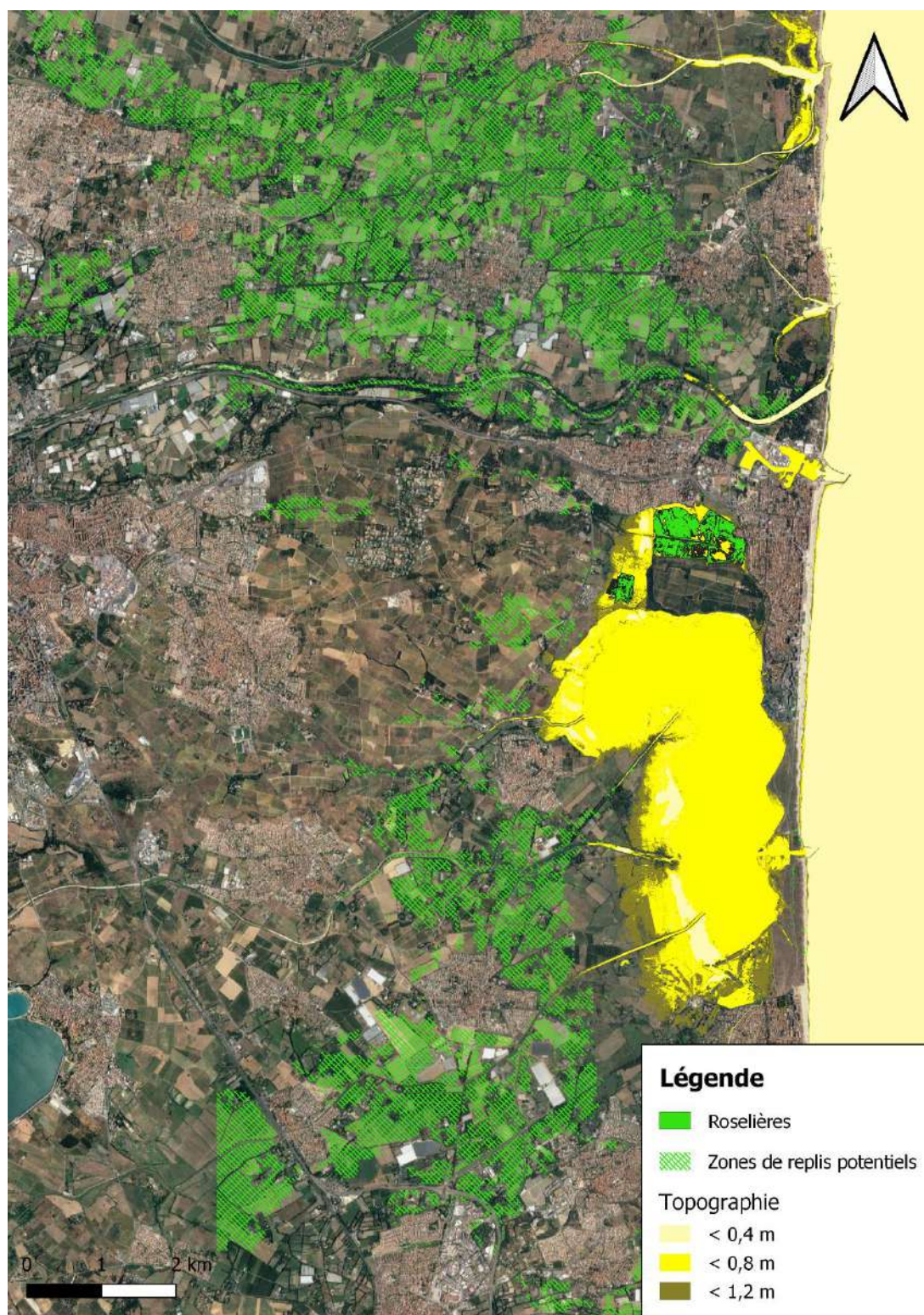


Cros Martin n°20

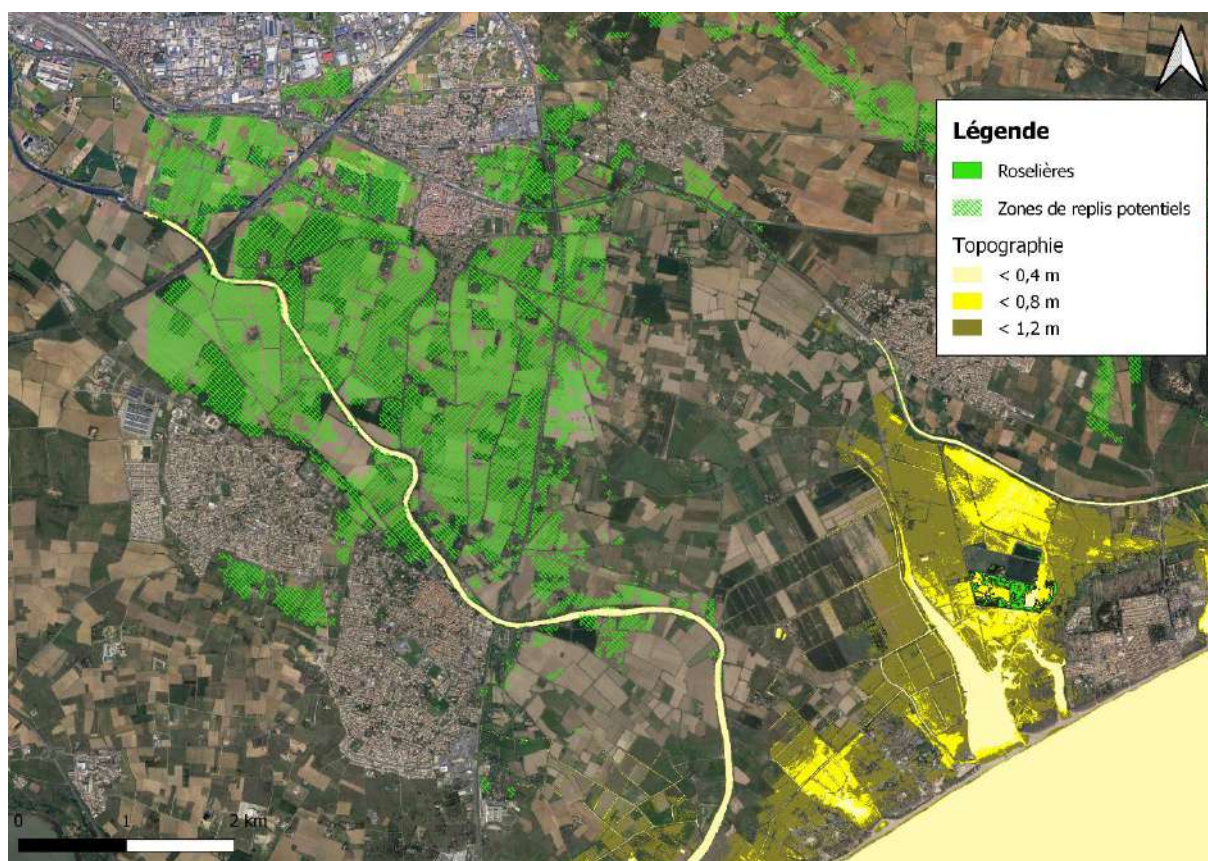


Annexe 6 – Cartographies des secteurs de repli potentiels
Bagnas n°10

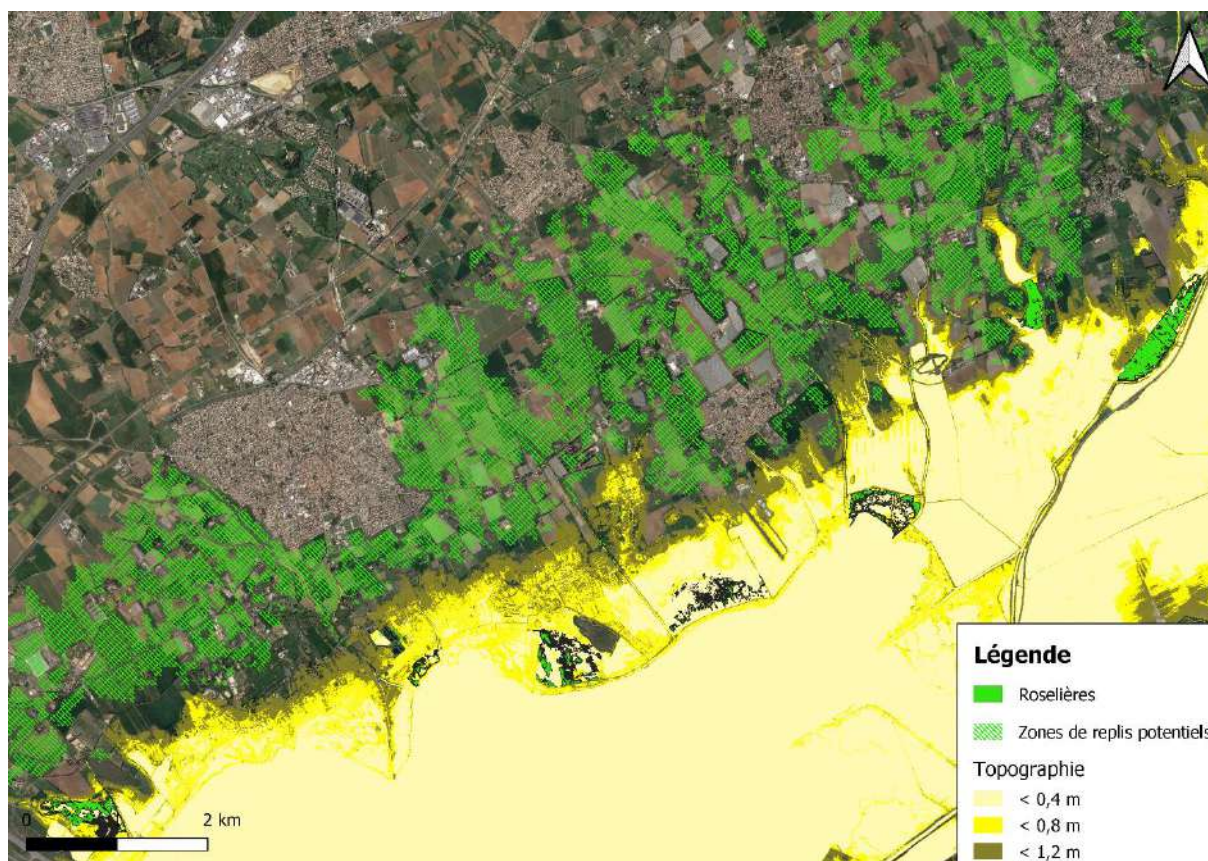




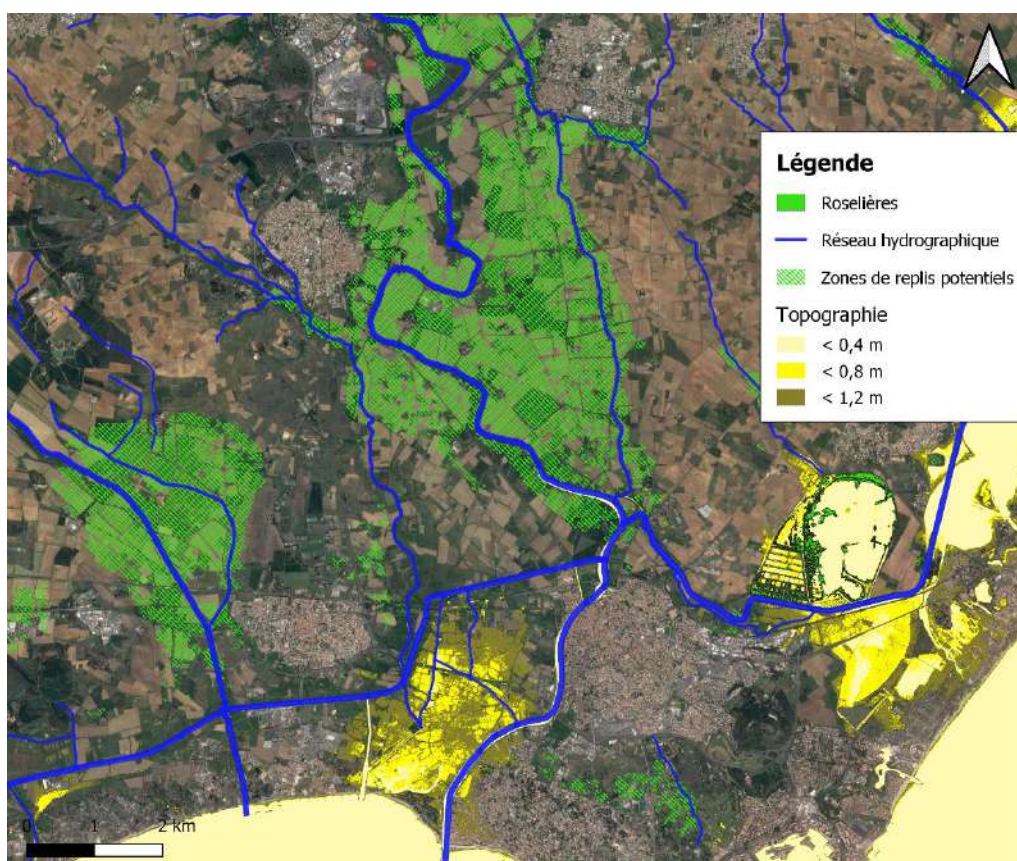
Grande Maïre n°9

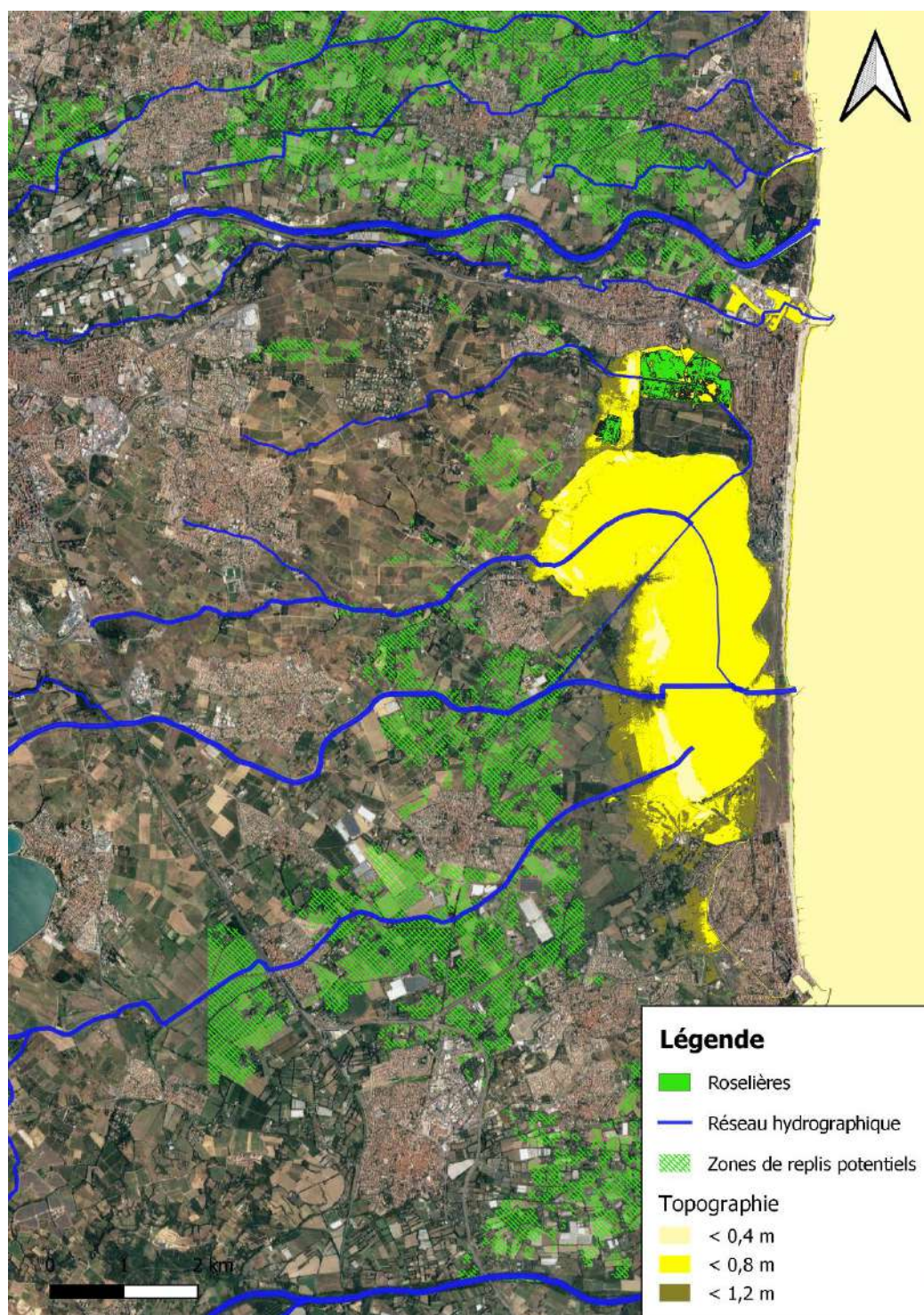


De gauche à droite : Saint Marcel n°17, Bentezac n°18, Marais de Plagnol n°19, Cros Martin n°20, Pierre Fiche n°21, Saint Nazaire n°22 et Benezet n°23

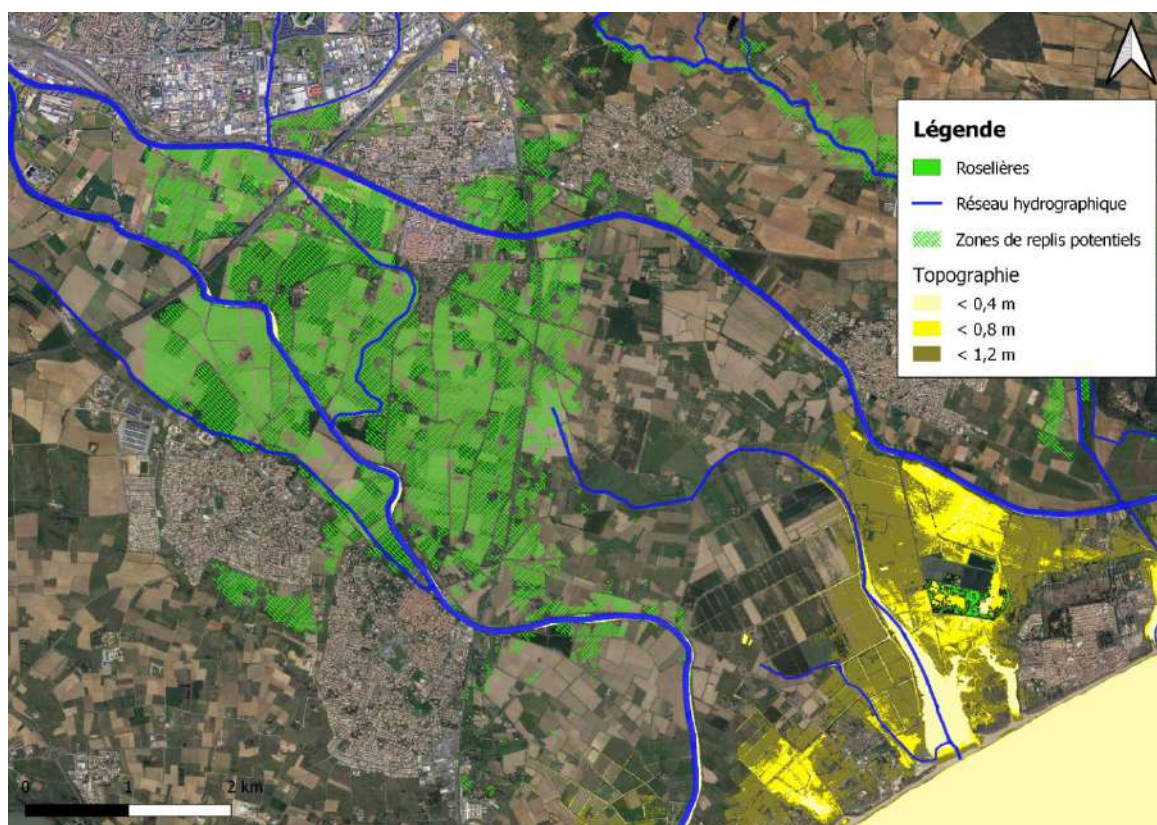


Annexe 7 – Cartographies intégrant le réseau hydrographique aux zones de
délimitations de repli potentiels
Bagnas n°10

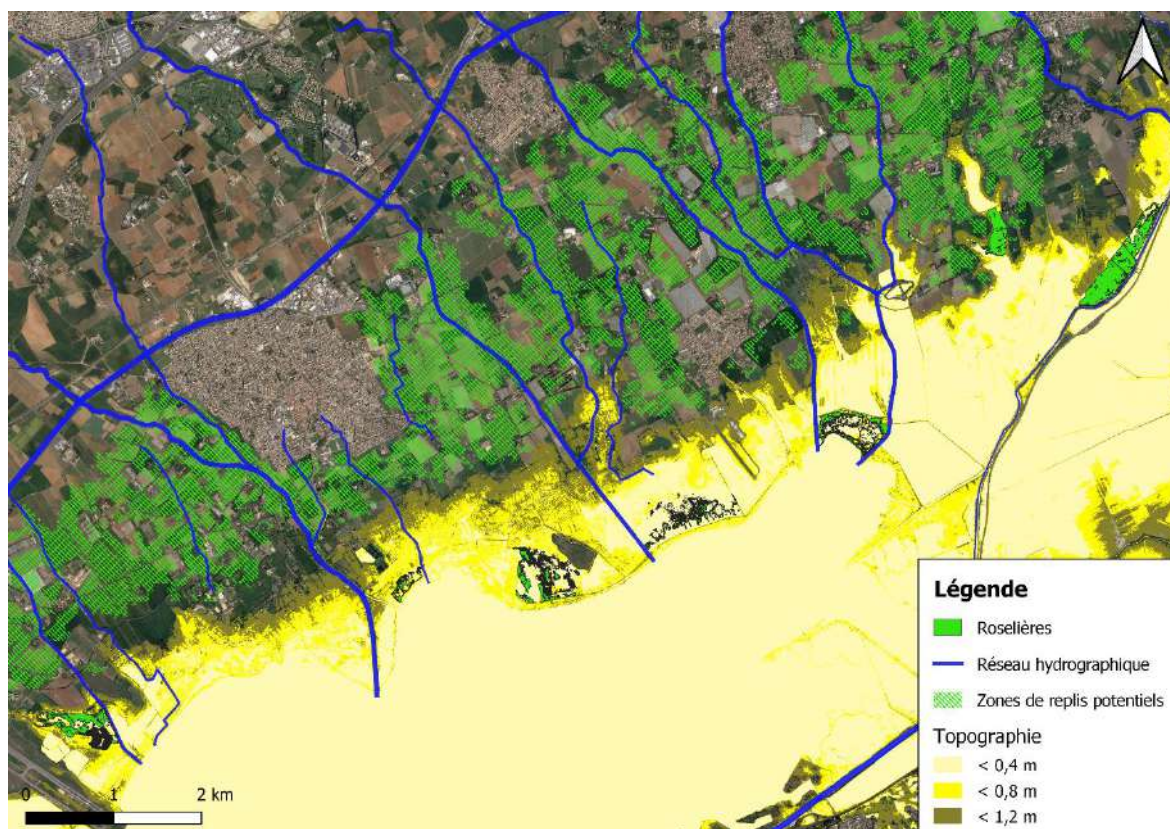




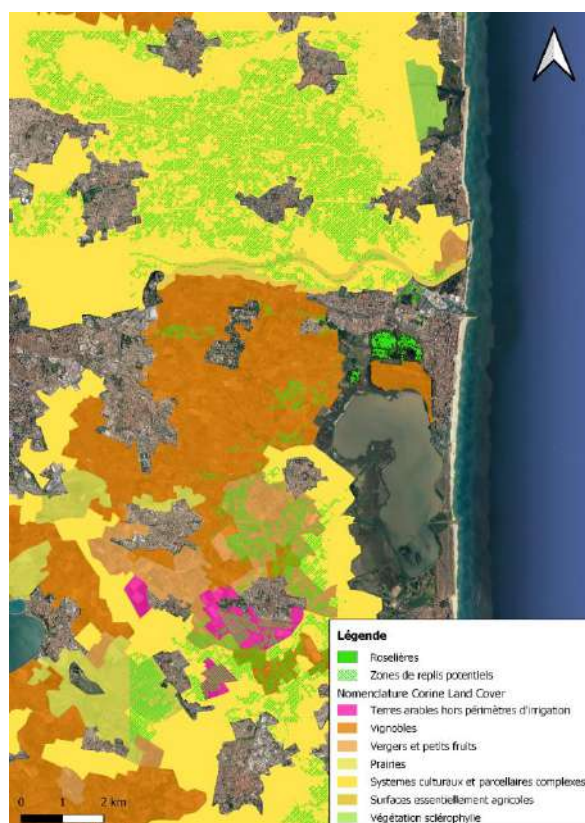
Grande Maïre n°9



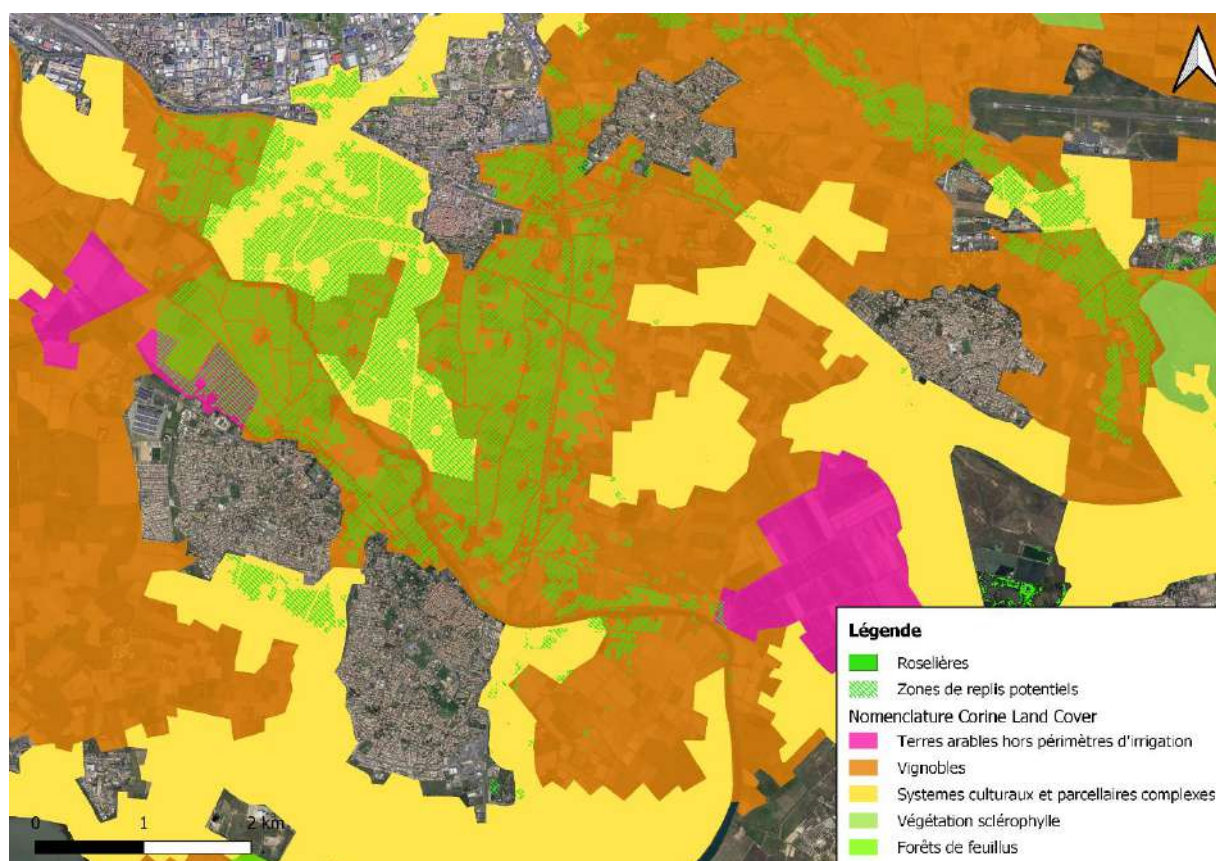
De gauche à droite : Saint Marcel n°17, Bentenac n°18, Marais de Plagnol n°19, Cros Martin n°20, Pierre Fiche n°21, Saint Nazaire n°22 et Benezet n°23



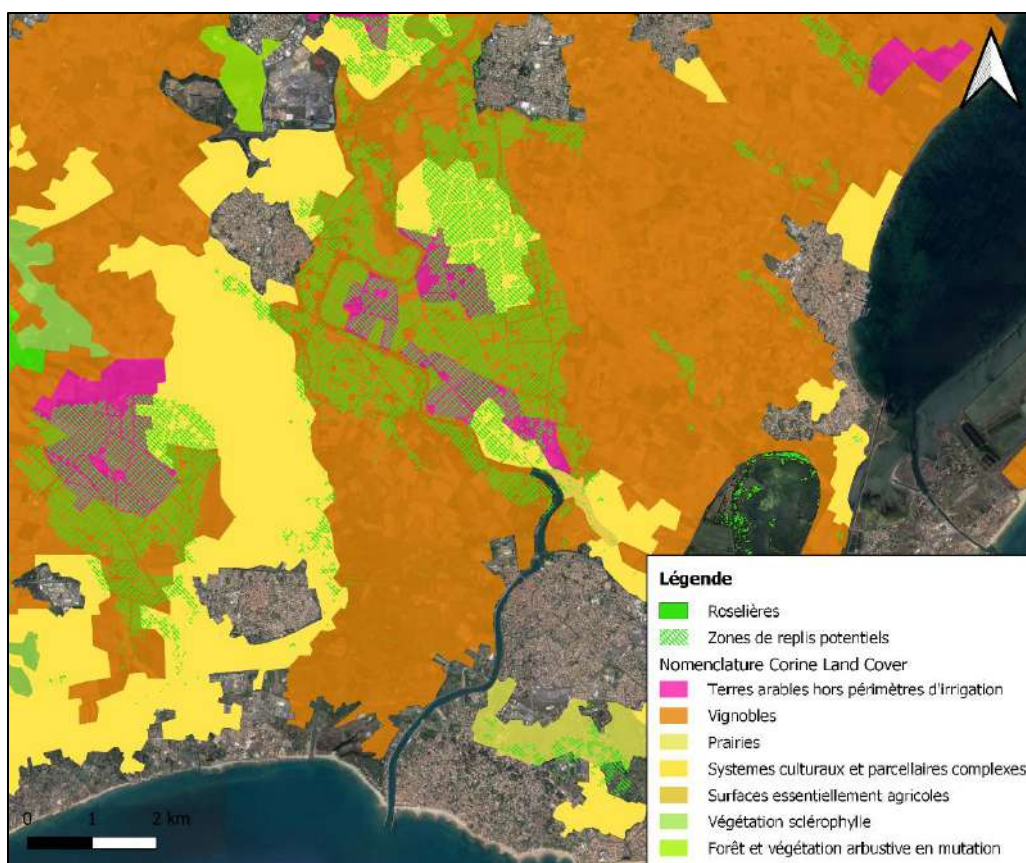
Annexe 8 – Cartographies de l'occupation du sol des zones de repli potentiels Canet n°1



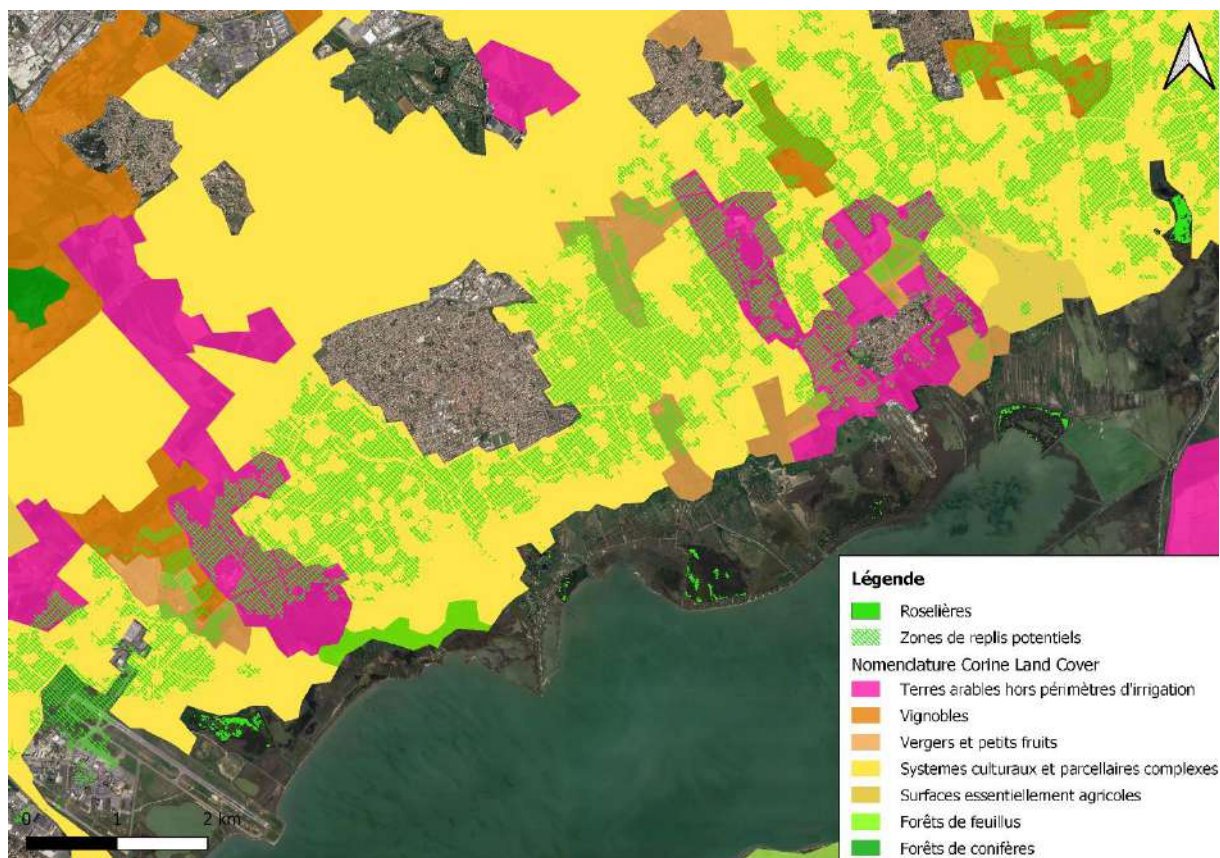
Grande Maïre n°9



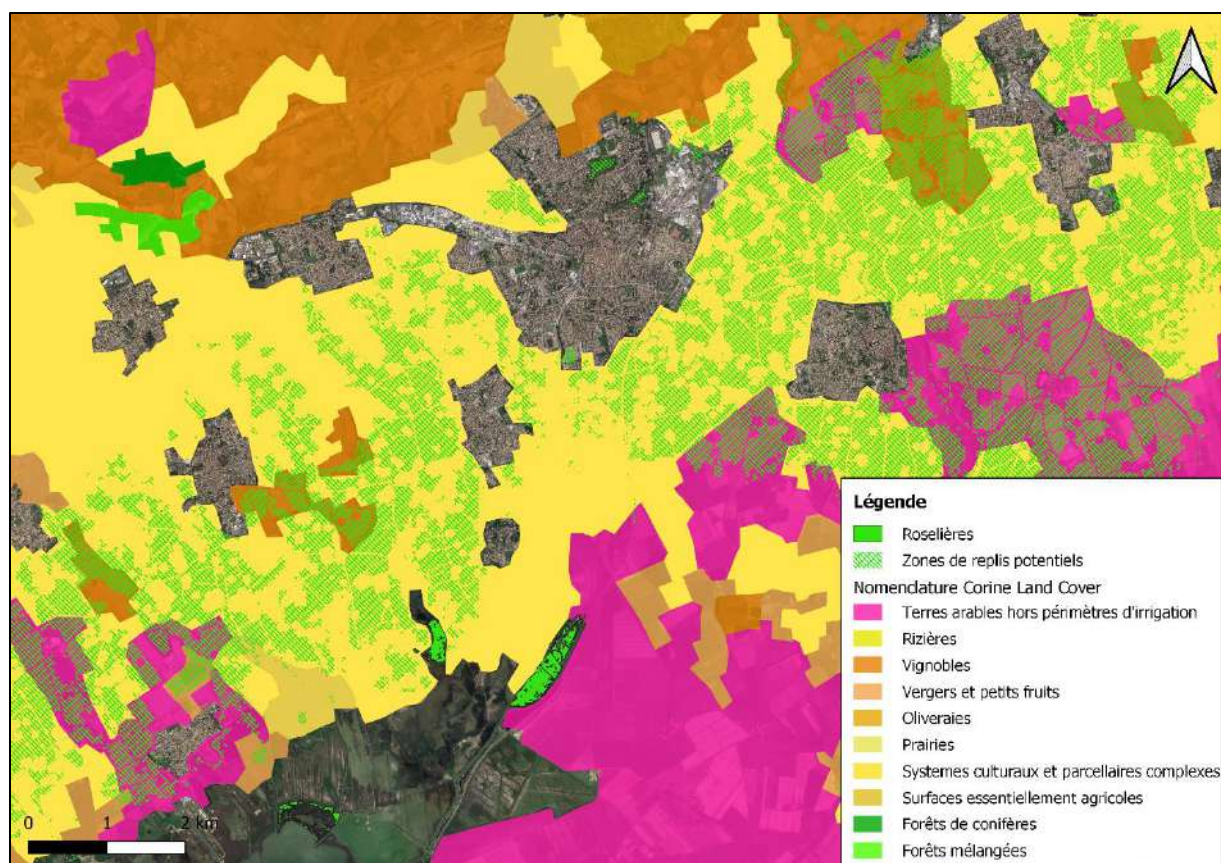
Bagnas n°10



De gauche à droite : Saint Marcel n°17, Bentenac n°18, Marais de Plagnol n°19, Cros Martin n°20, Pierre Fiche n°21 et Benezet n°23



Pierre Fiche n°21, Saint Nazaire n°22 et Benezet n°23



Bibliographie

AGENCE DE L'EAU RHONE MEDITERRANEE CORSE. *Appel à projets 2021 en faveur de l'eau et de la biodiversité* [en ligne]. (2021). Disponible sur < https://www.eaurmc.fr/jcms/pro_101005/fr/appel-a-projets-eau-biodiversite-2021 > (9 mai 2021)

AGROCAMPUS OUEST INRA UMR SAS. *Enveloppes des milieux potentiellement humides de la France métropolitaine* [en ligne]. (2014). Disponible sur < <http://geowww.agrocampus-ouest.fr/web/?p=1538> > (25 février 2021)

ANDRE, Camille. *De la stratégie régionale aux stratégies locales de gestion de la bande côtière* [en ligne]. Conférence adaptation des marais littoraux au changement climatique. La Rochelle, 2018. Disponible sur < https://pnr.parc-marais-poitevin.fr/wp-content/uploads/2015/12/J2_05_Camille-ANDRE.pdf > (6 avril 2021)

BRGM. Carte géologique au 1/50 000 Lunel. Carte géologique imprimée, BRGM, 1970.

CARLOS Olivier. *Étude des phénomènes de submersion marine sur le littoral de la commune des Saintes-Maries-de-la-Mer* [en ligne]. BRGM, Rapport de synthèse final, 2003, 46 pages. Disponible sur < <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-52747-FR.pdf> >

CARRENO Murielle, BELAIR Caroline, ROMANI Marie. *Répondre à l'élévation du niveau de la mer en Languedoc-Roussillon* [en ligne]. Pôle relais Méditerranée, La lettre des Lagunes, Hors-Série n°1, 2008, 19 pages. Disponible sur < http://download.pole-lagunes.org/LettreLagunes_hors_serie/Lettre_des_lagunes_hors_serie_1.pdf > (22 mars 2021)

DREAL LANGUEDOC-ROUSSILLON. *Guide régional d'élaboration des Plans de Prévention des Risques Littoraux Languedoc-Roussillon* [en ligne]. Guide d'élaboration, 2012, 24 pages. Disponible sur < http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/plaquette_V2_cle77b251.pdf > (26 mai 2021)

DREAL OCCITANIE. *Occitanie Développement Durable : Aménagement et protection du littoral* [en ligne]. 2015. Disponible sur < <http://www.occitanie.developpement-durable.gouv.fr/amenagement-et-protection-du-littoral-r1662.html> > (26 mai 2021)

GIEC. *Changements climatiques 2013 : les éléments scientifiques* [en ligne]. Résumé, 2013, 34 pages. Disponible sur < https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SPM_brochure_fr.pdf > (12 avril 2021)

KLESCZEWSKI Elodie. *Adaptation des territoires littoraux méditerranéens au changement climatique. Phase 1 : Benchmarking des expériences existante* [en ligne]. CEREMA, Rapport d'études, 2020, 88 pages. Disponible sur < https://www.cerema.fr/system/files/documents/2020/11/01_benchmarking_rapport_v1_1.pdf > (12 juillet 2021)

LITTORAL LANGUEDOC-ROUSSILLON. *Suivi des tempêtes et de leurs impacts* [en ligne]. 2007. Disponible sur < <http://littoral.languedocroussillon.fr/Suivi-des-tempetes-et-de-leurs-impacts.html> > (23 juin 2021)

MANZINALI Baptiste. *Menacée par la sécheresse, la Camargue risque de finir sous l'eau* [en ligne]. Article, National Geographic, 2020. Disponible sur < <https://www.nationalgeographic.fr/environnement/2020/01/menacee-par-la-secheresse-la-camargue-risque-de-finir-sous-leau> > (10 juillet 2021)

PALVADEAU Eric, FLEURY Perrine. *Vers une stratégie de conservation à long terme des roselières littorales d'Occitanie. Rapport Axe 3 - Volet hydrogéologique et volet Submersion*. Rapport final. BRGM. 66 pages. 2021.

RCT, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de l'Aménagement du territoire. *Scénarios plaine littorale 2030* [en ligne]. Rapport, 2008, 45 pages. Disponible sur < <http://www.littoral-occitanie.fr/Scenario-plaine-littoral-2030>> (29 juin 2021)

REY-VALETTE Hélène, BALOUIN Yann, RULLEAU Bénédicte, SOURRISSEAU Emmanuelle, VINCHON Charlotte. *Vulnérabilité des plages du Languedoc-Roussillon face au risque de submersion marine lié au changement climatique*. 2012. 32 pages.

SEGURA Lorena, THIBAUT Marc, POULIN Brigitte. Les Solutions fondées sur la Nature dans les anciens salins de Camargue [en ligne]. Brochure, 2020, 19 pages. < https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/adaptive-restoration-of-the-former-saltworks-in-camargue-southern-france/camargue_doc-1.pdf> (21 juillet 2021)

SERRAND M. MISEEVA. Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité de la zone côtière Languedoc-Roussillon face à la submersion marine : élaboration d'indicateurs de vulnérabilité socio-économiques et environnementaux [en ligne]. Rapport final, BRGM/RP-60980-FR, 2013. Disponible sur < <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RP-60980-FR.pdf>> (2 mars 2021)

SINNASSAMY Jean-Marc, MAUCHAMP André. *Roselières : gestion fonctionnelle et patrimoniale*. Station biologique de la Tour du Valat: L'Atelier technique des espaces naturels, 2001.

VERSPIEREN Sophie. *Le recul stratégique comme méthode de lutte face à l'érosion du littoral* [en ligne]. Mémoire, Université de Liège, 90 pages, 2018. Disponible sur <<https://matheo.uliege.be/bitstream/2268.2/5039/5/fichier%20sans%20annexe.pdf>> (22 mai 2021)