

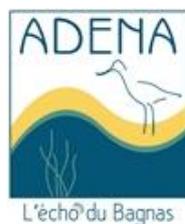
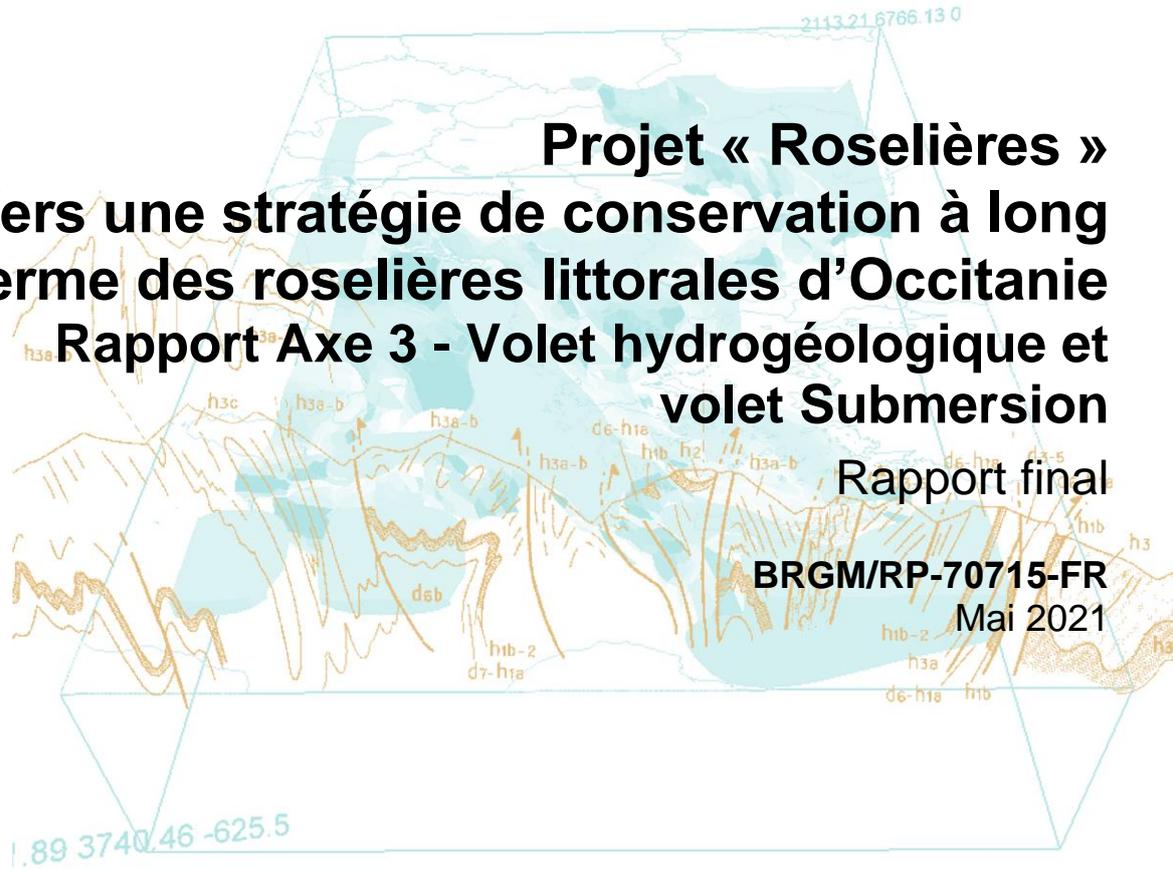
Document public



**Projet « Roselières »**  
**Vers une stratégie de conservation à long terme des roselières littorales d'Occitanie**  
**Rapport Axe 3 - Volet hydrogéologique et volet Submersion**

Rapport final

BRGM/RP-70715-FR  
Mai 2021





# Projet « Roselières »

## Vers une stratégie de conservation à long terme des roselières littorales d'Occitanie

### Rapport Axe 3 - Volet hydrogéologique et volet Submersion

#### Rapport final

**BRGM/RP-70715-FR**  
Mai 2021

Étude réalisée dans le cadre du projet de Service public du BRGM 2020-AP18MPL015

**E. Palvadeau, P. Fleury et N. Valentini**

**Vérificateurs :**

Noms : C. Lamotte et Y. Balouin

Fonction : chef de projet hydrogéologie et expert littoral

Date : 26/05/2021

Signature :



**Approbateur :**

Nom : A. Blum

Fonction : Directrice régionale Occitanie

Date : 02/06/2021

Signature :



Le système de management de la qualité et de l'environnement est certifié par AFNOR selon les normes ISO 9001 et ISO 14001.

Contact : [qualite@brgm.fr](mailto:qualite@brgm.fr)



**Mots-clés** : Salinisation, Eau souterraine, Changement climatique, Submersion marine, Niveau mer, Intrusion eau salée, Languedoc-Roussillon, Occitanie, Golfe du Lion, Roselières, lagunes.

En bibliographie, ce rapport sera cité de la façon suivante :

**Palvadeau E., Fleury P. et Valentini N.** (2021) – Vers une stratégie de conservation à long terme des roselières littorales d'Occitanie - Rapport Axe 3 - Volet hydrogéologique et volet Submersion. Rapport final. BRGM/RP- 70715 -FR, 245 p., 67 ill., 2 ann.

## Synthèse

L'ADENA pilote un programme de 3 ans (2019-2022) intitulé « ADENA Roselières - Vers une stratégie de conservation à long terme des roselières littorales d'Occitanie », qui vise à redéfinir les enjeux liés à l'avifaune inféodée aux roselières, au moyen de l'étude du fonctionnement hydrologique actuel et à venir de cet habitat.

Cofinancé par l'Agence de l'Eau Rhône Méditerranée et Corse, la Région Occitanie, le Département de l'Hérault, le Département de l'Aude et le Conservatoire du littoral. Il comporte quatre axes :

- Axe 1 - Quel potentiel d'accueil pour l'avifaune paludicole ?
- Axe 2 - Comment suivre les roselières de façon harmonisée ?
- Axe 3 - Quel avenir face aux risques climatiques ?
- Axe 4 - Comment sensibiliser un large public ?

Le projet « Roselières », objet de ce rapport, est issu d'un partenariat entre l'ADENA et le BRGM. Il contribue et fournit les éléments techniques et scientifiques nécessaires à la réalisation de deux actions de l'Axe 3 de ce programme :

- mise en place d'une stratégie de surveillance vis-à-vis des risques d'intrusions salines ;
- hiérarchisation des roselières littorales selon les risques de submersion marine.

Ce projet comporte deux tâches :

- tâche hydrogéologique, visant à apporter une expertise et un accompagnement des gestionnaires des 29 roselières concernées par le programme pour appréhender la compréhension de l'apparition et de l'évolution de la salinité et pour l'élaboration d'une stratégie de surveillance à l'échelle de chaque roselière et à l'échelle régionale ;
- tâche changement climatique/submersion marine, pour déterminer l'exposition des roselières à l'aléa submersion marine aux échéances 2030-2050 et 2100 et fournir des critères d'analyse de leur vulnérabilité face à ce phénomène.

Le volet « hydrogéologique » s'est attaché à améliorer les connaissances locales en terme de salinisation des roselières littorales de la région Occitanie. Une analyse de l'origine de la salinisation de ces zones humides a ainsi été effectuée sur 29 roselières de la région, grâce à une expertise hydrogéologique des secteurs, réalisée en partenariat avec les gestionnaires des sites.

Cette analyse a révélé que pour la quasi-totalité des sites il y avait une forte salinité, que cette dernière possédait souvent une origine ancienne en lien avec les activités anthropiques menées sur le site. Les phénomènes d'intrusion direct d'eau salée ou saumâtre via les réseaux hydrographiques sont également fréquents. Enfin, une distinction a été réalisée entre les intrusions « évènementielles » liées aux phénomènes météorologiques tels que les tempêtes et les crues et les intrusions plus inertielles qui se manifestent sur du long terme. Ces dernières prennent place au niveau des aquifères et sont pilotées par les phénomènes de densité en lien avec l'évolution du biseau salin. Ainsi, ces zones humides situées sur le littoral présentent toutes une forte sensibilité aux phénomènes de salinisation.

Le volet « changement climatique/submersion marine », en confrontant les scénarios de remontée du niveau de la mer aux échéances 2030-2050 et 2100, grâce à une méthodologie élaborée sur la base du programme BRGM MISEEVA, montre que la quasi-totalité des roselières expertisées présente une vulnérabilité importante au changement climatique à plus ou moins brève échéance. Ainsi, 50% des roselières seront impactées de manière permanente ou récurrente dès la période 2030-2050, du fait de leur proximité avec la mer ou les lagunes. L'approche statistique simplifiée utilisée pour projeter les niveaux marins et calculer la submersion, tend cependant à maximiser les impacts. Mais il faut souligner que les niveaux marins atteints actuellement de manière transitoire lors de certaines tempêtes dépassent déjà les niveaux des deux premiers scénarios analysés, et que des impacts sont observés sur certaines roselières lors de ces épisodes (cas de la roselière du Méjean).

Afin de suivre les évolutions de la salinisation sur ces secteurs en contexte de changement climatique, un réseau de suivi expérimental a été élaboré. Il est constitué de six piézomètres mis en place sur cinq roselières réparties sur l'ensemble du territoire étudié. Le suivi des niveaux et de la conductivité électrique de la nappe superficielle (0,5 à 1 m de profondeur) permettra de caractériser les échanges entre les différents compartiments, à savoir la nappe, les lagunes ou la mer et le plan d'eau de la roselière qui assure la recharge de cette dernière. À terme, ce suivi pourra être adapté et étendu aux autres roselières du littoral.

# Sommaire

<b>1. Introduction .....</b>	<b>11</b>
<b>2. Salinisation des masses d'eaux sur le littoral d'Occitanie – Synthèse bibliographique..</b>	<b>13</b>
2.1. MÉCANISMES DE LA SALINISATION - GÉNÉRALITÉ.....	13
2.2. ÉTAT DE L'INTRUSION MARINE SUR LE LITTORAL D'OCCITANIE.....	16
2.2.1. Aquifère 328d : Alluvions quaternaires du Bas-Rhône entre Beaucaire et Aigues-Mortes .....	19
2.2.2. Aquifère 328e1 : Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre le Vidourle et le Lez.....	20
2.2.3. Aquifère 338 : Alluvions quaternaires du Lez.....	20
2.2.4. Aquifère 328e3 : Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre Montpellier et Sète.....	20
2.2.5. Aquifère 143c (Calcaires jurassiques de la Gardiole) et 143a (Marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le bassin versant de l'étang de Thau).....	21
2.2.6. Aquifère 334b2 : Alluvions quaternaires récentes de l'Hérault entre le Pont du Diable et la mer .....	21
2.2.7. Aquifère 557c : Alluvions quaternaires du Libron .....	22
2.2.8. Aquifère 336d2 : Alluvions quaternaires récentes de l'Orb entre Réals et la mer..	22
2.2.9. Aquifère 337a : Alluvions quaternaires de l'Aude en aval d'Olonzac.....	22
2.2.10. Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires des bassins de Bages-Sigean et de la Berre (557c6) de la plaine de La palme-Caves (557c7) .....	23
2.2.11. Aquifère 225 : Sables et argiles pliocènes du Roussillon .....	23
2.3. CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITÉ VIS-À-VIS DE L'INTRUSION SALINE .....	24
2.4. ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DES AQUIFÈRES CÔTIERS À LA SALINISATION .....	26
<b>3. Expertise sur l'origine de la salinité observée dans les roselières de l'ancienne région Languedoc-Roussillon.....</b>	<b>29</b>
3.1. DESCRIPTION DES ROSELIÈRES.....	30
3.1.1. Étang de Canet - Saint-Nazaire (1).....	31
3.1.2. Sagnes d'Opoul – étang Salses-Leucate (2).....	33
3.1.3. Site des Dosses (3) .....	38
3.1.4. Marais du Narbonnais – Le Petit Castérou - étang Bages-Sigean (4) .....	39
3.1.5. Étang Pissevaches (5).....	43
3.1.6. Étang Capestang (6).....	45
3.1.7. Étang de la Matte (7) .....	47
3.1.8. Étang de Vendres (8).....	49
3.1.9. Gran Salan – Étang Grande Maire (9).....	54

3.1.10. Étang du Bagnas (10) .....	56
3.1.11. Salines du Castellans (11) .....	60
3.1.12. Prés du Baugé – Étang de Thau (12) .....	62
3.1.13. Grande Palude – Etang de Vic (13).....	65
3.1.14. Salines de Villeneuve – Vagaran Boulas (Étang de Vic) .....	66
3.1.15. Réserve Naturelle Nationale Estagnol (15).....	68
3.1.16. Site du Méjean (16).....	70
3.1.17. Saint-Marcel (17).....	74
3.1.18. Bentenac (18) .....	76
3.1.19. Marais de Plagnol (19) .....	78
3.1.20. Cros Martin (20) .....	80
3.1.21. Pierre Fiche (21) .....	82
3.1.22. Bénézet (22) et Saint-Nazaire – étang de l'Or (23).....	84
3.1.23. Espiguette – Grau du Roi (24).....	86
3.1.24. Marais de la Tour Carbonnière (25).....	88
3.1.25. Mahistre et Musette (26) .....	90
3.1.26. Domaine de Canavérier (27) .....	92
3.1.27. Scamandre – Bouvaù (28) .....	94
3.1.28. Marais des Gargattes (29).....	97
<b>3.2. TYPOLOGIE DES DIFFÉRENTES INTRUSIONS SALINES .....</b>	<b>98</b>
3.2.1. Salinité héritée .....	98
3.2.2. Alimentation par une eau saumâtre.....	100
3.2.3. Intrusion directe d'eau saumâtre ou salée de la lagune ou d'eau de mer dans la roselière.....	100
3.2.4. Intrusion d'eau de la lagune ou d'eau de mer par le réseau de surface.....	101
3.2.5. Échange avec l'aquifère saumâtre .....	102
<b>3.3. SYNTHÈSE : SENSIBILITÉ DES ROSELIÈRES AUX PHÉNOMÈNES DE SALINISATION.....</b>	<b>103</b>
<b>4. Vulnérabilité au changement climatique .....</b>	<b>105</b>
4.1. MÉTHODOLOGIE .....	105
4.1.1. Méthode de submersion simplifiée régionale.....	105
4.1.2. Topographie.....	108
4.1.3. Cartographie des scénarios par roselière.....	110
4.2. RÉSULTATS DE LA CARTOGRAPHIE DES SCÉNARIOS DE SUBMERSION SUR LES ROSELIÈRES D'OCCITANIE .....	113
<b>5. Synthèse globale .....</b>	<b>117</b>

<b>6. Proposition de mise en place d'un observatoire de la salinité au sein des roselières ..</b>	<b>119</b>
6.1. INSTRUMENTATION.....	119
6.2. EXTENSION DU RÉSEAU.....	120
6.3. SUIVI COMPLÉMENTAIRE .....	120
<b>7. Conclusions.....</b>	<b>121</b>
<b>8. Bibliographie .....</b>	<b>123</b>

## Liste des figures

Illustration 1. Gammes de concentrations et terminologie (d'après Kharaka et Hanor, 2005), la conductivité électrique à 25 °C est ajoutée.....	14
Illustration 2. Coupe schématique perpendiculaire au littoral selon Ghyben-Herzberg (extrait de Frissant et al., 2005). .....	15
Illustration 3. Géométrie des interfaces entre eaux salines et douce dans un aquifère multicouche épais. Les aquifères alternent avec des acquicludes et chaque aquifère montre une pénétration différente, dépendant pro parte du potentiel dynamique en amont (Custodio, 2002). .....	16
Illustration 4. Aquifères côtiers de la partie ouest du Languedoc-Roussillon.....	17
Illustration 5. Aquifères cotiers de la partie centrale du Languedoc-Roussillon.....	17
Illustration 6. Aquifères cotiers de la partie sud du Languedoc-Roussillon.....	18
Illustration 7. Carte de sensibilité des aquifères côtiers vis-à-vis de l'intrusion marine (Dörfliger et al., 2011). .....	25
Illustration 8. Carte de la vulnérabilité des aquifères côtiers en France Métropolitaine à la remontée du niveau marin de + 2m et pression par prélèvements (Dörfliger et al., 2011). .....	26
Illustration 9. Cartes de vulnérabilité selon la méthode GALDITsur le karst de Midi-Libre en haut et de la plaine du Roussillon en bas, pour l'actuel (à gauche) et pour des scénarios de remontée du niveau marin (+1m au milieu et +2m à droite). .....	27
Illustration 10. Localisation des 29 roselières du projet (source ADENA) et des piézomètres réalisés dans le cadre du projet.....	30
Illustration 11. Localisation de la roselière de l'étang de Canet. ....	31
Illustration 12. Localisation de la roselière des Sagnes d'Opoul.....	33
Illustration 13. Localisation des piézomètres Nord et Sud réalisés pour le suivi de la salinité de la roselière des Sagnes d'Opoul.....	35
Illustration 14. Réalisation des piézomètres Sud (à gauche) et Nord (à droite) et conductivité électrique mesurée. ....	36
Illustration 15. Localisation de la roselière des Dosses. ....	38
Illustration 16. Localisation de la roselière du « Petit Castelou ».....	39
Illustration 17. Salinité dans l'étang de Bages Sigean (station de Bages et de Peyriac).....	40
Illustration 18. Piézomètre mis en place pour le suivi de la salinité sur la roselière du Petit Catelou.....	42
Illustration 19. Localisation de la roselière de l'étang de Pissevache. ....	43

Illustration 20. Localisation des points de suivi sur la roselière de l'étang de Pissevache. ....	44
Illustration 21. Localisation de la roselière de l'étang de Capestang. ....	45
Illustration 22. Reconstitution des paléographies historiques du delta de l'Aude (Verdeil 1970, modifié par Ambert 1991). ....	46
Illustration 23. Localisation de la roselière de l'Etang de la Matte. ....	47
Illustration 24. Suivis en place sur la roselière de l'étang de la Matte. ....	48
Illustration 25. Localisation de la roselière de l'Etang de Vendres. ....	49
Illustration 26. Localisation des points de suivi sur la roselière de l'étang de Vendres. ....	50
Illustration 27. Photo aérienne de la roselière de l'étang de Vendres en août 2006 (en haut) et juillet 2018 (en bas). ....	52
Illustration 28. Localisation de la roselière de « Gran Salan ». ....	54
Illustration 29. Localisation de la roselière de l'étang du Bagnas. ....	56
Illustration 30. Fonctionnement hydraulique de la partie Nord (Réalisation : ADENA, 2018) ....	57
Illustration 31. Salinité moyenne au Grand Bagnas (source : Agbanrin, 2018). ....	58
Illustration 32. Localisation des ouvrages suivis hydrologiques sur l'étang du Bagnas (en blanc = suivi bimensuel FILMED ; en bleu = suivi de 2014) (Diraison, 2014). ....	59
Illustration 33. Localisation des roselières situées sur les salines du Castellans. ....	60
Illustration 34. Localisation de la roselière du Prés du Baugé. ....	62
Illustration 35. Mise en place du piézomètre et localisation (30 novembre 2020). ....	64
Illustration 36. Localisation de la roselière de la Grande Palude. ....	65
Illustration 37. Localisation de la roselière des salines de Villeneuve. ....	66
Illustration 38. Localisation de la roselière de l'Estagnol. ....	68
Illustration 39. Localisation de la roselière du Méjean. ....	70
Illustration 40. Localisation du piézomètre dans la roselière de la réserve. ....	72
Illustration 41. Mise en place du piézomètre dans la roselière de la Réserve (site du Méjean) le 30/11/2020. Mesure de la conductivité électrique dans le piézomètre et les canaux de surfaces (amont à gauche et aval à droite de la martelière). ....	73
Illustration 42. Localisation de la roselière de Saint-Marcel. ....	74
Illustration 43. Localisation de la roselière de Bentenac. ....	76
Illustration 44. Localisation de la roselière du marais de Plagnol. ....	78
Illustration 45. Localisation de la roselière du marais de Cros Martin. ....	80
Illustration 46. Localisation de la roselière du marais de Pierre Fiche. ....	82
Illustration 47. Localisation des roselières des étangs de Bénézet et Saint Nazaire. ....	84
Illustration 48. Localisation des roselières de l'Espiguette. ....	86
Illustration 49. Localisation de la roselière du marais de la Tour Carbonnière. ....	88
Illustration 50. Localisation de la roselière du marais de Plagnol. ....	90
Illustration 51. Localisation de la roselière de Canavérier. ....	92
Illustration 52. Localisation de la roselière du Bouvaù. ....	94
Illustration 53. Localisation du piézomètre dans la roselière. ....	95

Illustration 54. Mise en place du piézomètre (30/11/2020), mesure de la conductivité électrique dans le piézomètre et les canaux de surface (amont à gauche et aval à droite de la martelière).....	96
Illustration 55. Localisation de la roselière du marais des Gargattes.....	97
Illustration 56. Projections d'élévation du niveau de la mer par rapport aux valeurs de la fin du XXe siècle, exprimées en mètre en fonction de l'année (DGEC-ONERC, 2010). .....	106
Illustration 57. Scénarios de submersion retenus pour l'étude (arrondis à la dizaine de centimètres supérieure).....	107
Illustration 58. Remplissage des zones submergées pour un niveau marin donné selon, à gauche, la méthode Zone Basse et, à droite, la méthode Zone Connectée. ....	107
Illustration 59. Principe du filtrage Cloth Simulation Filter (CSF) (Zhang et al., 2016) sous Cloud Compare©.....	109
Illustration 60. Comparaison (différence en mètres) entre altitude donnée par le MNT Litto3D® 2009 et celle du MNT créé avec les points de mesure (nuage de points) du même levé Litto3D® filtrés avec le plugin Cloth Simulation Filter (CSF) du programme Cloud Compare (Zhang et al., 2016). Exemple de la Roselière de La Matte.....	109
Illustration 61. Juxtaposition des 9 scénarios dans l'ordre des altitudes croissantes de submersion pour la roselière de Sagne d'Opoul. ....	110
Illustration 62. Exemple de la cartographie des zones submergées de la roselière de Sagne d'Opoul pour le scénario □ 2030-2050 (+0,4 m NGF). ....	111
Illustration 63. Exemple de table attributaire d'une couche SIG d'un scénario de submersion. ....	112
Illustration 64. Tableau des critères d'analyse de la vulnérabilité des roselières d'Occitanie face à la submersion marine. Au numéro du scénario, est associé pour rappel le type de submersion : P pour Permanent, R pour récurrent et E pour Exceptionnel. ....	114
Illustration 65. Vue régionale des premiers scénarios de submersion atteignant les roselières d'occitanie. ....	115
Illustration 66. Réalisation des piézomètres sur les six sites pilotes.....	120
Illustration 67. Tableau de synthèse des poids et rang de la méthode GALDIT.....	130

## Liste des annexes

Annexe 1 : Méthode GALDIT .....	125
Annexe 2 : Résultats de la cartographie des scénarios de submersion sur les roselières.....	131



# 1. Introduction

Ce projet intitulé « Roselières » a été réalisé dans le cadre d'une convention entre l'ADENA<sup>1</sup> et le BRGM. Il s'est attaché à améliorer les connaissances locales en terme de salinisation des roselières littorales de la région Occitanie.

Il contribue à la réalisation d'un programme plus large piloté par l'ADENA intitulé « Vers une stratégie de conservation à long terme des roselières littorales d'Occitanie » et dénommé « ADENA Roselières<sup>2</sup> ». Son objectif est de redéfinir les enjeux liés à l'avifaune inféodée aux roselières au moyen de l'étude du fonctionnement hydrologique actuel et à venir de cet habitat. Ce programme de 3 ans est cofinancé par l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse, la Région Occitanie, le Département de l'Hérault, le Département de l'Aude et le Conservatoire du littoral. Il comporte quatre axes :

- Axe 1 - Quel potentiel d'accueil pour l'avifaune paludicole ?
- Axe 2 - Comment suivre les roselières de façon harmonisée ?
- Axe 3 - Quel avenir face aux risques climatiques ?
- Axe 4 - Comment sensibiliser un large public ?

Le présent projet s'inscrit dans l'axe 3 du programme ADENA Roselières qui prévoit quatre actions :

- 1- l'évaluation des volumes d'eau mensuel actuel et à venir pour le maintien des roselières ;
- 2- la mise en place d'une stratégie de surveillance vis-à-vis des risques d'intrusions salines ;
- 3- la hiérarchisation des roselières littorales selon les risques de submersion marine ;
- 4- l'élaboration d'une cartographie des zones artificialisées connectées aux roselières à risque.

Le BRGM apporte sa contribution technique et scientifique à cet axe 3 au travers de la réalisation de deux tâches reliées aux actions 2 et 3 :

- tâche 1 : accompagnement technique des gestionnaires de réserves dans la mise en place de réseaux de surveillance permettant d'appréhender la compréhension de l'évolution de la salinité de l'eau et de les aider à définir une stratégie de surveillance. Le BRGM apporte son expertise hydrogéologique pour l'élaboration de cette stratégie à l'échelle de chaque réserve et à l'échelle régionale ;
- tâche 2 : la détermination et l'analyse de l'exposition des roselières à l'aléa submersion marine par projection des scénarios de submersion mis à jour du programme MISEEVA (Serrand *et al.*, 2013), aux échéances 2030-2050 et 2100, sur une topographie préalablement améliorée tirées du levé LiDAR Litto3D® de 2009 (SHOM-IGN, 2009).

---

<sup>1</sup> L'ADENA (Association Défense Environnement Nature Pays d'Agde) est une association de préservation et de sensibilisation à la nature, experte en zones humides littorales méditerranéennes. Elle est gestionnaire de la Réserve naturelle nationale du Bagnas depuis sa création en 1983.

<sup>2</sup> <https://www.roselieres-occitanie.fr/>

Ce rapport présente :

- une synthèse bibliographique rappelant les concepts de la salinisation des aquifères en zone côtière ainsi que les travaux et connaissances existants sur l'état des aquifères côtiers en Occitanie vis-vis de ce phénomène, la cartographie de leur sensibilité et vulnérabilité aux intrusions salines ;
- une expertise hydrogéologique avec en sortie, pour chaque roselière, une fiche indiquant le contexte et l'origine de la salinité ;
- une typologie des différentes origines des intrusions salines, tirée de l'expertise hydrogéologique ;
- la méthodologie pour la détermination en contexte de changement climatique, de l'exposition des roselières à l'aléa submersion marine aux échéances 2030-2050 et 2100 (cartographie des scénarios) et l'élaboration de critères de vulnérabilité qui seront par la suite utilisés par l'ADENA pour hiérarchiser les roselières ;
- proposition de mise en place d'un observatoire de la salinité (réseau de suivi) au sein des roselières, incluant l'instrumentation de six piézomètres au sein de cinq roselières pilotes, permettant le suivi du niveau de la nappe et de sa conductivité.

Ce rapport n'inclut pas l'analyse des chroniques de niveau et de conductivité, acquises en 2021, par le réseau de suivi pilote. Des fiches interprétatives de ces chroniques, ainsi que des recommandations sur la poursuite du suivi et la méthode d'analyse des données futures feront l'objet d'une note complémentaire au dernier trimestre 2021.

## 2. Salinisation des masses d'eaux sur le littoral d'Occitanie – Synthèse bibliographique

### 2.1. MÉCANISMES DE LA SALINISATION - GÉNÉRALITÉ

La salinisation des Masses d'Eau (ME) souterraine est l'une des principales causes de dégradation de la qualité de l'eau dans le monde. Les mécanismes à l'origine de la salinité d'un système hydrologique sont divers et complexes. Le BRGM a ainsi réalisé en 2011 une synthèse sur la salinisation des ME en France (Kloppmann *et al.*, 2011). Ce rapport intitulé « Salinisation des masses d'eaux en France : du constat au diagnostic », BRGM/RP-60186-FR est téléchargeable sur le site <https://infoterre.brgm.fr/>.

Une synthèse de ce document adapté au contexte régional côtier est ainsi proposée. Pour une approche plus exhaustive, il est recommandé au lecteur de consulter directement le rapport précédemment cité.

Ainsi, le mode de salinisation dépend du contexte géographique (côtier, continental...), géologique (nature de l'aquifère, minéralogie des sédiments...) et climatique. Les principaux vecteurs impliqués dans la salinisation des ME souterraine sont l'intrusion marine, le mélange avec des saumures anciennes, la dissolution de formations évaporitiques, mais aussi diverses sources anthropiques. Il faut noter que les phénomènes d'origine naturelle peuvent être influencés et accentués par l'intervention humaine. En contexte côtier l'intrusion saline est le vecteur principal de la salinisation.

Déterminer l'origine de la salinité reste une condition indispensable pour gérer de façon efficace cette problématique. Combinées à des investigations hydrogéologiques et géophysiques, les méthodes géochimiques et notamment l'utilisation des isotopes stables et radioactifs se sont révélées adaptées à la discrimination des sources de salinité. Ces outils s'intègrent dans une stratégie de gestion et d'action générale vis-à-vis d'une salinisation, allant du premier constat aux mesures de remédiation en passant par un suivi dans le temps, des modèles conceptuels des causes de la salinisation, peaufinés au fur et à mesure de l'acquisition des données, des modèles numériques de simulation et de prédiction.

Ainsi, les eaux douces, saumâtres, salines et les saumures sont identifiées en fonction de leur salinité (Illustration 1). L'eau douce est ainsi caractérisée par une salinité inférieure à 1 g/l, la salinité de l'eau saumâtre est comprise entre 1 et 10 g/l, entre 10 et 35 g/l l'eau est considérée saline, au-dessus de 35 g/l on parle de saumure.

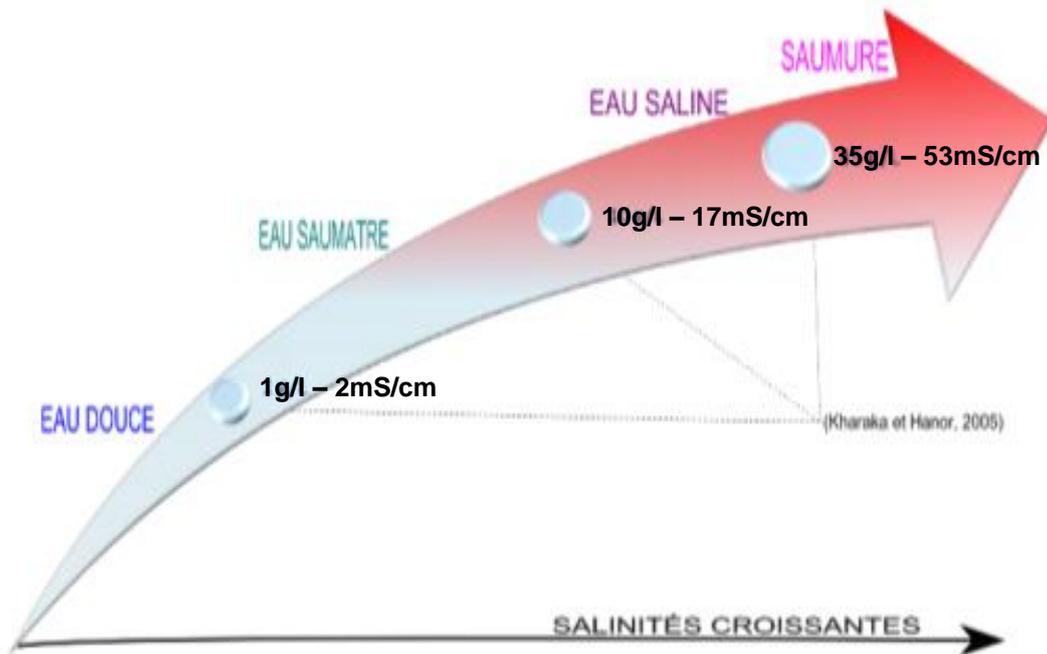


Illustration 1. Gammes de concentrations et terminologie (d'après Kharaka et Hanor, 2005), la conductivité électrique à 25 °C est ajoutée.

Dans le cadre d'un aquifère libre de type poreux, les écoulements dominants sont horizontaux, conséquence d'un gradient hydraulique faible dans des zones basses. Le niveau piézométrique est influencé par la géométrie et donc la topographie ainsi que par les propriétés hydrodynamiques et les conditions d'exploitation. La mise en place des dépôts littoraux (cône de déjection, prismes d'accrétion) favorise l'existence d'une forte anisotropie et la présence d'écoulements à composante dominante verticale. Les écoulements d'eau souterraine sont orientés en direction de la mer; l'eau douce repose ou « flotte » sur l'eau marine souterraine. L'intrusion d'eau salée a de manière générale la forme d'un biseau plongeant vers l'intérieur des terres, d'où son appellation commune de « biseau salé ». Ce contact entre ces eaux de densité différentes va évoluer suivant les lois de la diffusion et de l'hydrodynamique mais également suivant l'exploitation de l'aquifère et sa recharge par les précipitations. Ce contact ne constitue pas une interface nette, du fait de la miscibilité des fluides de densité différente, une zone de transition va prendre place.

Des solutions analytiques ont été développées afin de représenter cette interface eau douce / eau salée. On citera en première approximation le modèle de Ghyben-Herzberg, qui permet d'examiner le cas d'un aquifère côtier libre, isotrope, soumis à une recharge en régime permanent (Illustration 2). Selon les travaux de Ghyben (1888) et Herzberg (1901), la profondeur H de l'interface sous le zéro (référentiel, NGF en France métropolitaine), est déterminée comme suit, considérant que :

- les deux fluides ne sont pas miscibles ;
- les deux fluides sont en équilibre hydrostatique dans un milieu homogène et poreux, dans un aquifère unique ;
- leur contact est supposé être représenté par une interface nette.

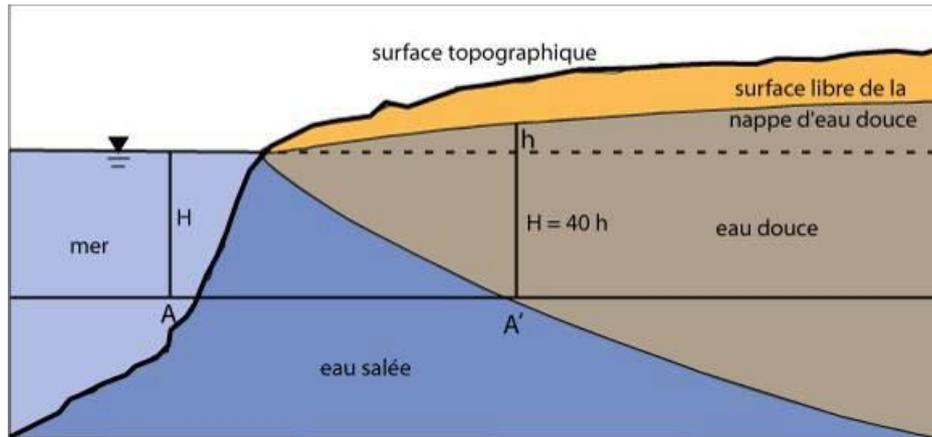


Illustration 2. Coupe schématique perpendiculaire au littoral selon Ghyben-Herzberg (extrait de Frissant et al., 2005).

Ainsi, en un point quelconque de l'aquifère, l'interface entre l'eau douce et l'eau salée se situe sous le niveau de la mer à une profondeur égale à 40 fois l'élévation du niveau piézométrique au-dessus du niveau de la mer.

Dans le contexte particulier des aquifères côtiers, les aquifères sont en contact avec l'eau salée d'origine marine, qui envahit plus ou moins les formations géologiques côtières. L'eau douce d'une densité moindre que celle de l'eau salée « flotte » au-dessus de l'eau marine souterraine. L'eau salée d'une densité moyenne de 1,025 kg/l a ainsi tendance à pénétrer dans les terres sous l'action du gradient de densité.

La géométrie réelle des interfaces eau douce-eau salée est généralement bien plus complexe que celle décrite par la loi de Ghyben-Herzberg étant donnée l'imbrication des strates de perméabilité différente dans des nombreux aquifères côtiers, notamment dans un milieu deltaïque (Custodio, 2002, Illustration 3) et dans les milieux hétérogènes karstiques. La distribution souvent complexe des zones à forte et faible salinité reflète également l'historique des transgressions-régressions antérieures qui ont pu laisser des lentilles d'eaux salées ou douces dans certaines parties de l'aquifère (de Montety, 2008).

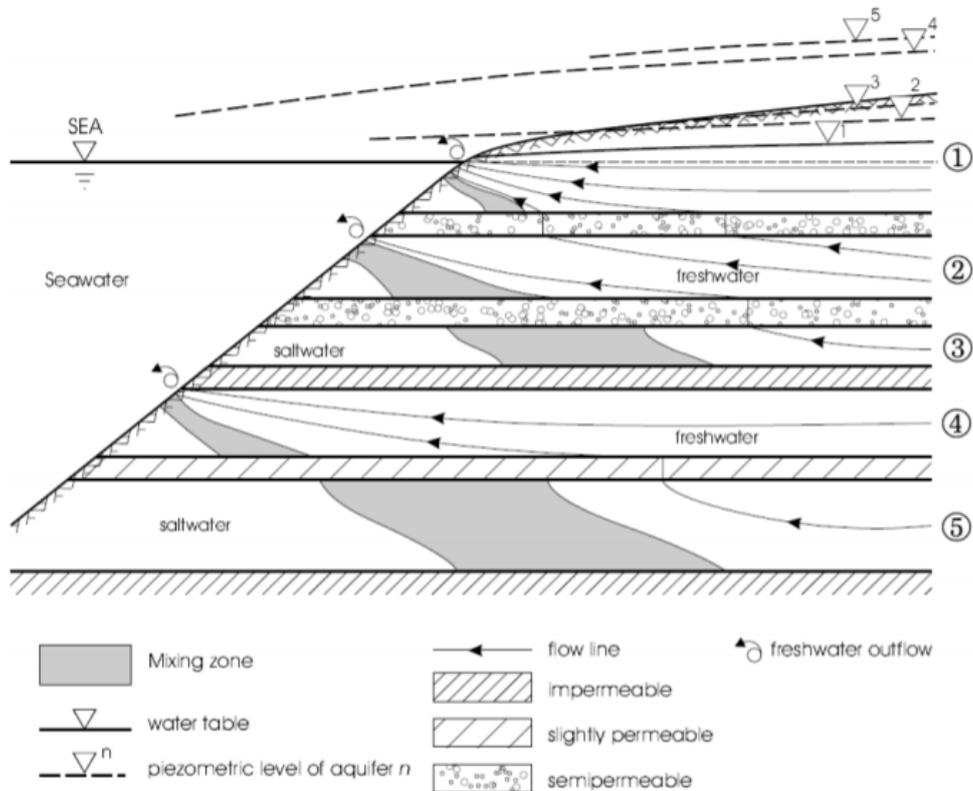


Illustration 3. Géométrie des interfaces entre eaux salines et douce dans un aquifère multicouche épais. Les aquifères alternent avec des acquicludes et chaque aquifère montre une pénétration différente, dépendant pro parte du potentiel dynamique en amont (Custodio, 2002).

## 2.2. ÉTAT DE L'INTRUSION MARINE SUR LE LITTORAL D'OCCITANIE

En 2011 Dörfliger *et al.*, se sont intéressés à l'impact de l'élévation du niveau de la mer sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers de Métropole (rapport BRGM/RP-60829-FR). Dans ce cadre, une synthèse de l'intrusion marine sur les aquifères de la région Languedoc-Roussillon a été réalisée, à partir d'une analyse bibliographique. Une présentation de cet état des lieux est ainsi proposée ici, s'agissant de notre secteur d'étude. À nouveau, nous recommandons la lecture du rapport téléchargeable sur le site <https://infoterre.brgm.fr/> pour une approche exhaustive.

Les aquifères de la région Languedoc-Roussillon ont été examinés rapidement sur la base d'informations directement exploitables à partir d'une synthèse bibliographique. Les références bibliographiques sont présentées dans la seconde partie de la bibliographie. Les aquifères de la bordure côtière sont examinés systématiquement de l'est vers la frontière espagnole (Illustration 4 à Illustration 6 issues du rapport BRGM/RP-60829-FR). La référence des aquifères précisée sur les différentes cartes est celle de la BDLISA V1.



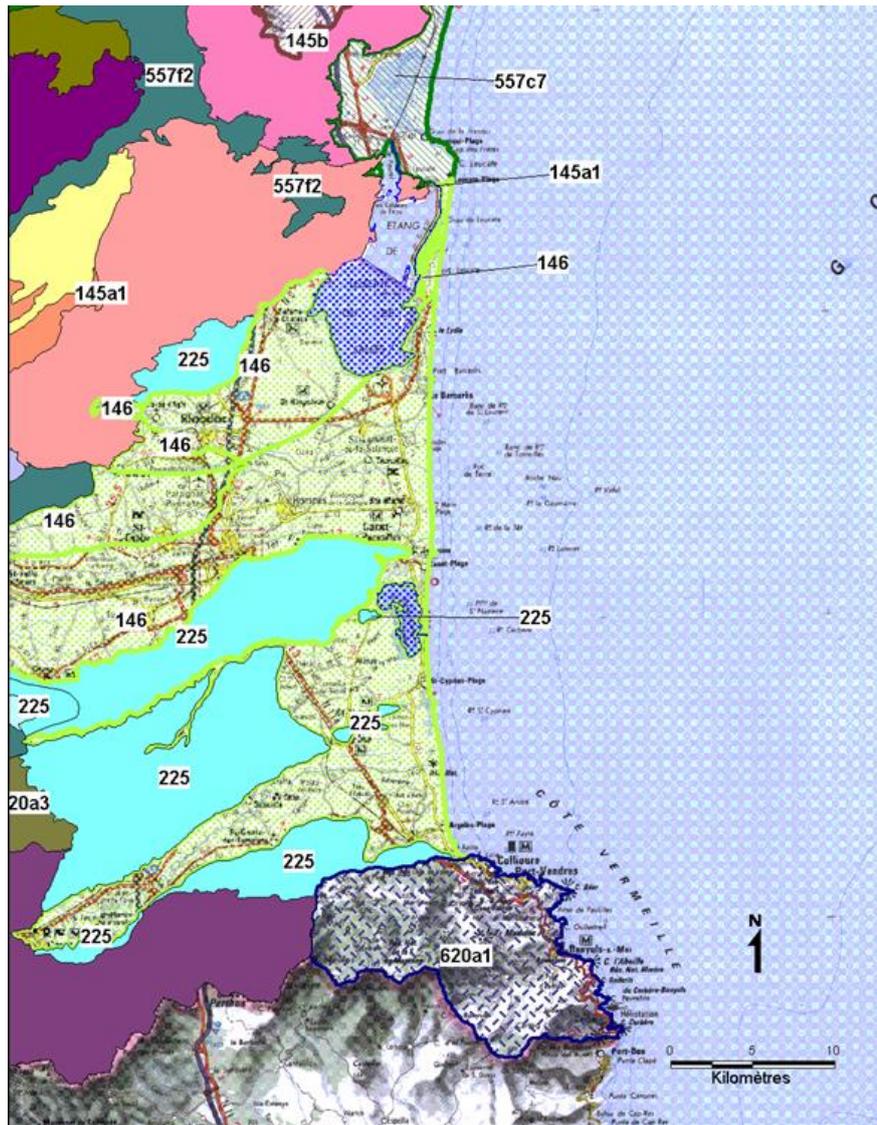


Illustration 6. Aquifères cotiers de la partie sud du Languedoc-Roussillon.

Cette étude a permis de caractériser l'état des aquifères en lien avec les phénomènes de salinisation et également de caractériser leur vulnérabilité lors de l'élévation du niveau marin. Une méthode de cartographie de la vulnérabilité des aquifères a ainsi été mise en place sur des aquifères du littoral Languedocien-Roussillon, à partir de la méthode GALDIT. Cette dernière initialement développée par Chachadi et Lobo-Ferreira (2001) est une approche de « cartographie à index » simple d'utilisation, nécessitant peu de données. La détermination de l'indice de vulnérabilité des eaux souterraines par rapport à l'intrusion saline est fondée sur la combinaison de six paramètres pouvant influencer l'intrusion saline potentielle :

- le type d'aquifère : libre, captif, semi-captif (**G**roundwater occurrence) ;
- la conductivité hydraulique de l'aquifère (**A**quifer hydraulic conductivity) ;
- la profondeur de la nappe en dessous du niveau de la mer (depth to groundwater **L**evel above sea) ;
- la distance par rapport à la côte (**D**istance from the shore) ;

- l'impact de l'état actuel de l'intrusion saline dans la zone d'étude (Impact of existing status of seawater intrusion in the area) ;
- l'épaisseur de l'aquifère (Thickness of the aquifer).

Une note est attribuée aux quatre classes de chaque paramètre ; cette note est comprise entre 2,5 et 10. Les valeurs résultantes sont obtenues par agrégation des valeurs des paramètres, pondérées de manière significative mais néanmoins subjective. La méthode de calcul est détaillée en Annexe 1. Ce type de méthode permet d'obtenir une première estimation qualitative de la vulnérabilité.

La méthode GALDIT a été utilisée dans plusieurs contextes hydrogéologiques ; c'est une méthode qualitative dont la validation l'est également, considérant d'une part les principes sur lesquels elle repose et d'autre part les résultats obtenus. Ceux-ci sont à rapprocher de données de terrain et/ou de résultats de modèles. Cette méthode ne prend pas en compte la recharge ni le flux qui s'écoule au travers de l'aquifère, ou encore les débits pompés.

Un diagnostic de l'état de la salinisation lors de la rédaction du rapport (paramètre I) et également des différents paramètres de la méthode GALDIT est ainsi proposé pour les différents aquifères côtiers du littoral Languedoc-Roussillon.

### 2.2.1. Aquifère 328d : Alluvions quaternaires du Bas-Rhône entre Beaucaire et Aigues-Mortes

G	La nappe est libre en amont et devient rapidement captive.
A	La perméabilité élevée (maximum de $10^{-2}$ m/s) et une épaisseur notable expliquent la forte exploitation de cette nappe.
L	La charge hydraulique est faible à proximité de la mer.
D	La première douzaine de km en bordure de mer est couverte en grande partie par des étangs
I	Dans la partie méridionale, l'eau est saumâtre du fait des eaux superficielles des étangs et de la proximité de la mer qui remonte les canaux et les cours d'eau en étiage, malgré un toit se situant entre 40 et 50 m de profondeur. L'eau présente donc un faciès chloruré-sodique.
T	L'épaisseur moyenne est comprise entre 15 et 25 m, mais pouvant atteindre 30 à 40 m dans la partie sud.

Vulnérabilité : bien que les eaux soient saumâtres dans sa partie aval, l'aquifère 328d est fortement exploité. Il est possible que l'élévation du niveau de la mer se fasse sentir loin à l'intérieur des terres, via les canaux et les cours d'eau.

Étude complémentaire de cet aquifère : L'étude de la sensibilité de cet aquifère à une élévation du niveau de la mer peut être intéressante si la profondeur de pénétration de la mer vers l'intérieur des terres est importante.

### 2.2.2. Aquifère 328e1 : Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre le Vidourle et le Lez

G	La nappe est libre sur une grande partie de sa surface mais devient captive à proximité de l'étang de l'Or.
A	C'est une nappe dont les caractéristiques hydrauliques permettent une forte exploitation de cette nappe (eau pour l'AEP et pour l'industrie). Les débits ponctuels peuvent dépasser 200 m <sup>3</sup> /h. Un niveau d'Holocène marin (argiles grises lagunaires et argiles à galets) protège l'aquifère au niveau du trait de côte.
L	La charge en bord de mer est peu élevée.
D	L'étang de l'Or repousse le bord de mer à 3 km.
I	Il n'y a pas de problèmes de qualité ayant pour origine la mer. Il y a néanmoins des problèmes liés à des teneurs élevées en nitrates et en pesticides.
T	L'épaisseur des alluvions est importante, mais dépasse rarement les 40 m.

Vulnérabilité : La nappe n'est pas spécialement concernée par l'élévation du niveau de la mer : présence d'un écran argileux, de l'étang de l'Or. La qualité de la nappe n'est pas pour l'instant affectée par la présence de la mer.

Étude complémentaire de cet aquifère : c'est un aquifère fortement exploité. Cependant, on ne note aucun problème de qualité lié à la mer. La présence d'un écran argileux augmente la protection de cet aquifère. Dans ces conditions, il ne constitue pas un aquifère prioritaire. Cependant, des forages captent la nappe des alluvions villafranchiennes pour des besoins en eau potable ou pour l'agriculture. Parmi ceux-ci, seuls ceux en bordure de l'Étang seront susceptibles de subir un impact en lien avec le biseau salé.

### 2.2.3. Aquifère 338 : Alluvions quaternaires du Lez

C'est un aquifère étroit, étiré le long du Lez. Son côté sud, en bordure de l'étang de l'Or est à 3 km de distance de la mer. Cet aquifère ne constitue pas un aquifère prioritaire pour une étude de sa vulnérabilité par rapport à l'élévation du niveau de la mer : éloignement de la mer, autres sources de pollution (urbaine).

### 2.2.4. Aquifère 328e3 : Alluvions quaternaires et villafranchiennes entre Montpellier et Sète

G	Aquifère libre et captive
A	La productivité de cet aquifère est faible et localisé. Il n'y a pas en amont de captages destinés à l'AEP.
L	
D	
I	Les eaux sont contaminées en chlorures et en sulfates en bordure du littoral
T	

Vulnérabilité : Cet aquifère est vulnérable aux eaux salées de la mer.

Étude complémentaire de cet aquifère : la faible étendue de cet aquifère et son importance économique limitée ne justifient pas de le retenir comme aquifère prioritaire.

### 2.2.5. Aquifère 143c (Calcaires jurassiques de la Gardiole) et 143a (Marnes et calcaires du Crétacé au Miocène du Bas Languedoc dans le bassin versant de l'étang de Thau)

Ce sont des aquifères karstiques caractérisés par des écoulements particulièrement complexes au niveau des exutoires : mélanges d'eaux de nature et d'origine différentes (eau douce, eau salée, eau thermale).

143c : Les sources, issues de la Gardiole sont saumâtres ou salées. Des mesures de conductivité dans les ouvrages du secteur de Frontignan montrent une progression du biseau salé qui affecte l'eau souterraine du karst de la Gardiole vers l'intérieur des terres.

143a : La source sous-marine de la Vise subit des phénomènes d'inversac (intrusion d'eau de mer pendant des périodes s'étendant de quelques jours à plusieurs mois). Les eaux sont de type saumâtre sous le cordon littoral et à proximité de la lagune.

Ces aquifères karstiques sont donc déjà affectés par des venues d'eau salée en provenance de la mer. Il est très probable que l'élévation du niveau de la mer les affectera encore davantage. Cependant, en raison de leur complexité et de leur spécificité, la méthode GALDIT nécessitera une adaptation.

### 2.2.6. Aquifère 334b2 : Alluvions quaternaires récentes de l'Hérault entre le Pont du Diable et la mer

G	Aquifère libre dans sa partie amont, puis captif en aval de Bessan à proximité du littoral, du fait de la présence d'un niveau de limons de couverture dont l'épaisseur augmente vers l'aval, provoquant une mise en charge de la nappe. Les relations hydrauliques sont fortes avec l'Hérault ; des flux de drainance existent avec les sables astiens sous-jacents.
A	Les productivités sont bonnes : de 150 à 200 m <sup>3</sup> /h par forage. Les 12 puits du champ captant de Florensac captent cette nappe en rive gauche de l'Hérault ; c'est le deuxième champ captant de l'Hérault.
L	On ne dispose que d'une piézométrie datant de 1972 ; sa représentativité actuelle est à contrôler.
D	
I	Les eaux sont de bonne qualité jusqu'en amont d'Agde, puis sont polluées par l'intrusion marine au-delà (concentration en chlorures et en sulfates supérieures à 350 mg/l).
T	Les alluvions sont épaisses de 20 à 30 m en bordure littorale, avec un toit situé entre 30 et 40 m d'épaisseur.

Vulnérabilité : Malgré la présence d'une couverture de limons, cet aquifère n'est pas protégé de venues d'eau salée en provenance de la mer.

Étude complémentaire de cet aquifère : Cet aquifère est productif, se situe dans un secteur où la demande en eau est importante. Il présente a priori une vulnérabilité marquée à une élévation du niveau de la mer qu'il serait intéressant d'étudier plus précisément.

### 2.2.7. Aquifère 557c : Alluvions quaternaires du Libron

G	Aquifère libre à captive
A	Les ressources en eau sont limitées. C'est un aquifère hétérogène.
L	
D	
I	Les eaux sont saumâtres au niveau du cordon littoral. Les eaux sont par ailleurs polluées par les nitrates et les pesticides.
T	

Vulnérabilité : La qualité médiocre de l'eau en bordure littorale montre sa vulnérabilité aux eaux salées de la mer.

Étude complémentaire de cet aquifère : la faible productivité de cet aquifère ainsi que sa mauvaise qualité actuelle conduisent à ne pas retenir cet aquifère pour des études complémentaires sur sa vulnérabilité à une élévation du niveau de la mer.

### 2.2.8. Aquifère 336d2 : Alluvions quaternaires récentes de l'Orb entre Réals et la mer

Le contexte de cet aquifère est proche du 334b2 (Alluvions quaternaires récentes de l'Hérault entre le Pont du Diable et la mer).

G	Libre dans sa partie amont, la nappe devient captive à proximité du littoral, du fait de la présence d'une couche de limons de couverture dont l'épaisseur augmente vers l'aval provoquant une mise en charge de la nappe.
A	Les débits d'exploitation ponctuels peuvent aller jusqu'à 100 m <sup>3</sup> /h quand la nappe est réalimentée par la rivière.
L	La piézométrie datant de 1976 nécessite d'être actualisée.
D	L'Orb facilite la remontée de la mer vers l'intérieur des terres en période d'étiage.
I	Cette nappe est sollicitée pour l'AEP de Béziers sans problème d'intrusion saline. Le biseau salé est situé à l'aval de Sérignan.
T	L'épaisseur de la nappe varie de 6 m (en amont) à 30 m (en bordure littorale)

Vulnérabilité : malgré la présence d'une couverture de limons, cet aquifère n'est pas protégé de venues d'eau salée en provenance de la mer, notamment des remontées d'eau de mer par l'Orb (Bless *et al.*, 2018).

Étude complémentaire de cet aquifère : Cet aquifère est productif, se situe dans un secteur où la demande en eau est importante. Il présente a priori une vulnérabilité marquée à une élévation du niveau de la mer qu'il serait intéressant d'étudier plus précisément.

### 2.2.9. Aquifère 337a : Alluvions quaternaires de l'Aude en aval d'Olonzac

G	L'aquifère évolue d'un régime semi-captif en amont à captif en aval où les alluvions sont recouvert d'une couverture limoneuse.
A	La productivité est plus élevée en amont. C'est un aquifère très exploité dont les ressources sont liées aux écoulements de surface par réalimentation induite à partir de l'Aude. En aval, la transmissivité est de l'ordre de 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> /s, et les ressources en eau présentent moins d'intérêt.
L	Carte piézométrique datant de 1965. Elle montre un gradient piézométrique élevé.
D	Aquifère à une dizaine de km du bord de mer.
I	Une zone de qualité médiocre remonte le long de l'Aude mais ne concerne que la zone de faible perméabilité.
T	L'épaisseur mouillée varie de 0 à 20 m en aval.

Vulnérabilité : On peut considérer que la vulnérabilité future de la nappe contenue dans les alluvions de l'Aude entre Coursan et Narbonne sera réduite à cause de la position en retrait par rapport à la mer et du gradient hydraulique élevé.

Étude complémentaire de cet aquifère : l'étude complémentaire de cet aquifère ne se justifie pas compte tenu sa vulnérabilité relativement faible.

### 2.2.10. Molasses, calcaires, grès et marnes tertiaires des bassins de Bages-Sigean et de la Berre (557c6) de la plaine de La palme-Caves (557c7)

G	Aquifère libre à captive
A	Aquifère peu productif, hétérogène et les ressources en eau sont très peu utilisées. Il n'y a pas de d'AEP.
L	Niveau proche du niveau de la mer
D	Faible extension vers l'intérieur des terres
I	Les eaux sont saumâtres le long du littoral, ainsi que certaines émergences littorales
T	Les caractéristiques de cet aquifère sont très hétérogènes.

Vulnérabilité : cet aquifère est allongé le long de la mer et plusieurs étangs le recouvrent. Il est déjà vulnérable comme le montre la qualité des eaux.

Étude complémentaire de cet aquifère : Cet aquifère ne présente pas d'atout aussi bien en quantité qu'en qualité ; il ne sera donc pas retenu pour une étude complémentaire de sa vulnérabilité à une élévation du niveau de la mer.

### 2.2.11. Aquifère 225 : Sables et argiles pliocènes du Roussillon

C'est une ressource en eau relativement peu vulnérable en raison de la présence de niveaux argileux dans les horizons supérieurs. Néanmoins, des problèmes de vulnérabilité se posent ; ils sont liés :

- au risque d'intrusion d'eau salée sur le littoral ;
- à la percolation d'eau contaminée par les forages mettant en connexion plusieurs niveaux aquifères ;
- à des inversions de drainance en raison de l'exploitation de plus en plus poussée du Pliocène marin sableux.

Les intrusions d'eau salée seront favorisées par une élévation du niveau de la mer. Cependant, pour l'aquifère du Plio-Quaternaire, les risques liés aux forages et à l'exploitation ont une importance dominante par rapport à l'élévation du niveau de la mer. La connaissance de la vulnérabilité à une élévation du niveau de la mer apparaît donc comme secondaire.

### 2.3. CARTOGRAPHIE DE LA SENSIBILITÉ VIS-À-VIS DE L'INTRUSION SALINE

La caractérisation de la sensibilité des aquifères côtiers vis-à-vis de l'intrusion saline a été menée selon la classification proposée dans le cadre d'une étude réalisée en 2009 en Corse (BRGM-RP-56165-FR, Frissant *et al.*). La cartographie est effectuée à partir des informations de la BDLISA, des entités hydrogéologiques. Les cinq classes sont les suivantes :

- **Classe « Sensibilité faible »** : les entités de nature imperméable sont classées sous le vocable de « sensibilité faible ». Secteur caractérisé par des formations imperméables non aquifères : en général couche argileuse pouvant constituer une barrière de protection pour un aquifère sous-jacent ou situé en amont hydraulique vers l'intérieur des terres ;
- **Classe « Sensibilité faible à moyenne »** : les entités de nature semi-perméable sont en général des sédiments plus ou moins argileux, avec une circulation restreinte mais pouvant comporter localement des aquifères plus perméables. C'est notamment le cas pour des structures multi-couches comme on peut les trouver dans des zones de deltas, de bassins sédimentaires. Des formations de socle, avec des perméabilités faibles ainsi que des aquifères compartimentés, mais localement semi-perméables font également partie de cette classe. Ces aquifères sont en général sensibles à une intrusion saline par biseau salé, pouvant être multiples et superposés, en fonction de la configuration, de la géométrie du multi-couche ;
- **Classe « Sensibilité moyenne »** : les entités caractérisées par une perméabilité moyenne à élevée, pouvant correspondre à des aquifères sédimentaires (craies non karstifiées mais fissurées ; aquifères poreux caractérisés par une K moyenne de l'ordre de  $10^{-4}$  à  $10^{-6}$  m/s), des aquifères de socle (horizon d'altérites et horizon fissuré) au niveau de la zone de contact avec présence de sources côtières ;
- **Classe « Sensibilité variable – karstique »** : les aquifères karstiques sont caractérisés par une forte hétérogénéité spatiale des zones de perméabilité hydraulique variable ; des vides de type conduit peuvent trouver place au niveau du littoral et s'organiser dans l'espace (en x et en z). Du fait des variations du niveau eustatique au cours de temps géologiques, des conduits peuvent être présent à plusieurs dizaines de mètres sous le niveau marin actuel. Ces conduits donnent lieu à des émergences – sources pouvant fonctionner comme source et comme point d'engouffrement, en fonction des variations de la charge hydraulique au sein de l'aquifère (fonction de la recharge et de l'exploitation). Un aquifère karstique côtier constitue d'autant plus s'il y a des sources sous-marines étagées, un aquifère d'une sensibilité variable, mais vraisemblablement pouvant être forte et avérée également. Une sensibilité forte peut être attribuée à des zones particulières, zones de cavités et de sources (ex. source de Fontestramar exutoire du karst des Corbières). L'exploitation de forages ou de puits en zones karstiques induit des phénomènes imprévisibles en terme d'intrusion saline, certains pompages étant sans effet alors que d'autres provoqueront des intrusions conséquentes ;
- **Classe « Sensibilité forte »** : les secteurs caractérisés par la prédominance d'alluvions perméables et l'existence de nappes d'accompagnement de rivière sont confrontés à l'intrusion combinée du biseau salé et du rentrant salé dans les cours d'eau pouvant donner lieu à de petits biseaux salés le long des cours d'eau dans les aquifères de part et d'autre.

De plus, en croisant les informations de la bibliographie des études régionales, il est possible d'attribuer une sixième classe, la **Classe « Sensibilité forte-avérée »** aux aquifères pour lesquels les intrusions salines sont existantes et où il y a un risque important d'aggravation liée aux conditions d'exploitation.

Dans la plupart des cas, les zones d'intrusion saline sont des zones très localisées. Dans ce cas, il n'est pas envisageable d'attribuer la classe de « sensibilité forte avérée » pour un aquifère côtier de grande extension. Seules les localisations d'intrusion salines connues sont représentées. Cette manière de faire permet de mieux discriminer la sensibilité des aquifères.

La carte de sensibilité à l'intrusion marine pour les aquifères côtiers du Languedoc-Roussillon a ainsi été établie (Illustration 7).

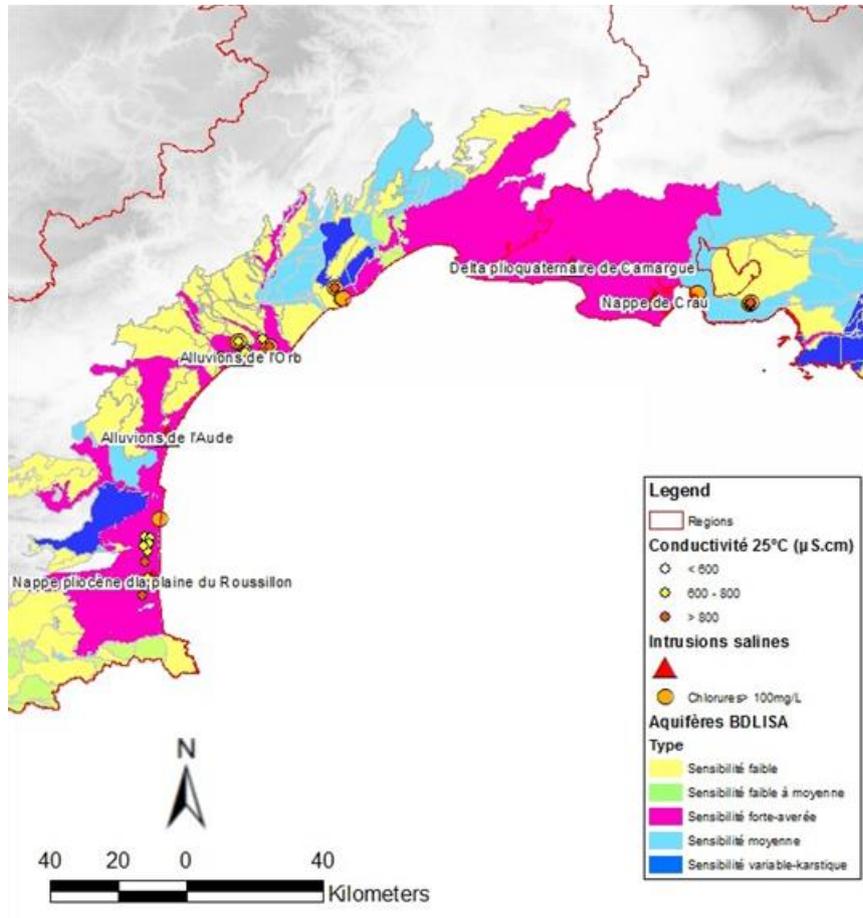


Illustration 7. Carte de sensibilité des aquifères côtiers vis-à-vis de l'intrusion marine (Dörfliger et al., 2011).

## 2.4. ANALYSE DE LA VULNÉRABILITÉ DES AQUIFÈRES CÔTIERS À LA SALINISATION

Aussi, le travail réalisé par Dörfliger *et al.* (2011), a permis d'aboutir à une cartographie de la vulnérabilité à l'échelle nationale. Ce travail est basé sur le croisement cartographique de :

- la sensibilité des aquifères à la salinité ;
- la sensibilité vis-à-vis d'une remontée du niveau marin en lien avec la topographie actuelle ;
- la pression démographique et des différents prélèvements (AEP, Agricoles, industriels).

La méthodologie mise en œuvre est détaillée dans le rapport précédemment cité, pour une approche exhaustive, nous invitons le lecteur le consulter directement. Ainsi la carte de la vulnérabilité établie sur le littoral du Languedoc-Roussillon pour une élévation de 2 m est fournie ci-après (Illustration 8).

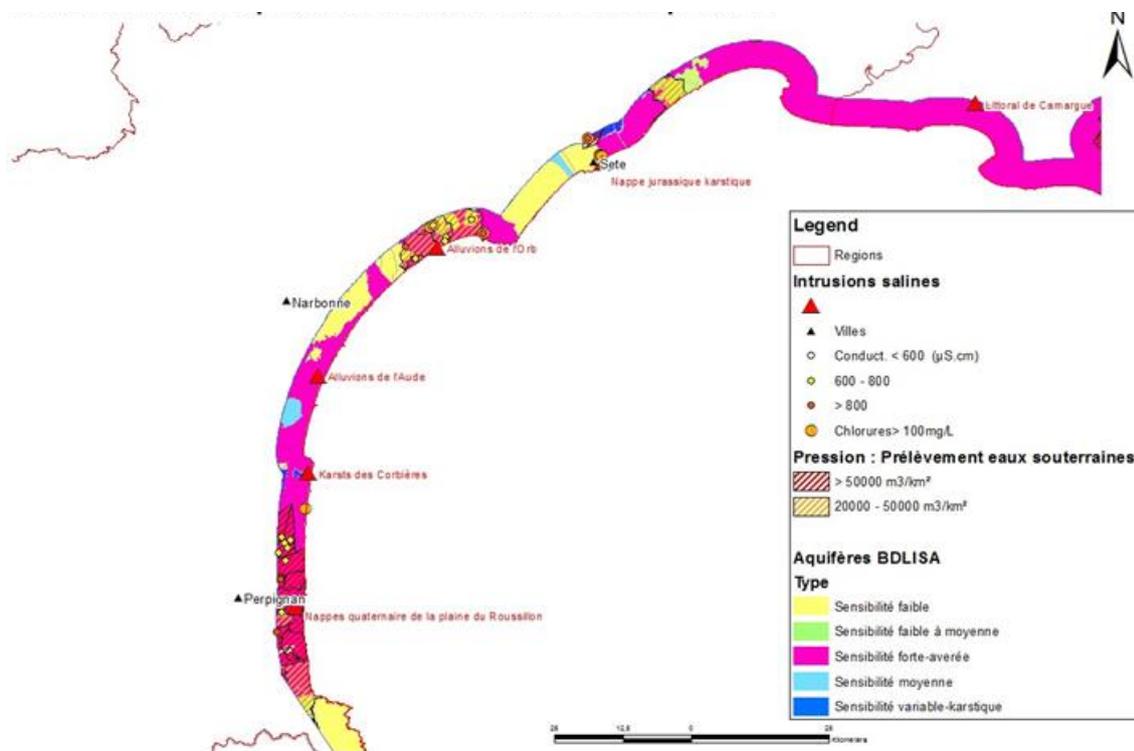


Illustration 8. Carte de la vulnérabilité des aquifères côtiers en France Métropolitaine à la remontée du niveau marin de +2m et pression par prélèvements (Dörfliger *et al.*, 2011).

Enfin, à l'échelle régionale, la méthode GALDIT a été appliquée sur 2 secteurs pour définir la vulnérabilité dans le cas d'une élévation du niveau de la mer de 1 et 2 m :

- **le karst Midi Libre au sud-ouest de Montpellier**, l'aquifère des calcaires jurassique du pli ouest de Montpellier est connu pour être influencé par l'eau de la mer dans des puits de pompages ;
- les **sédiments quaternaires de la plaine de Roussillon** qui forment des aquifères qui sont d'une manière générale libres ou très légèrement captifs et localement impactés par des intrusions salines. Cette zone dispose d'un grand nombre de données grâce à des campagnes de mesures de terrain et une modélisation des ressources en eau.

Les résultats graphiques obtenus pour ces deux entités sont fournis ci-après (Illustration 9) :

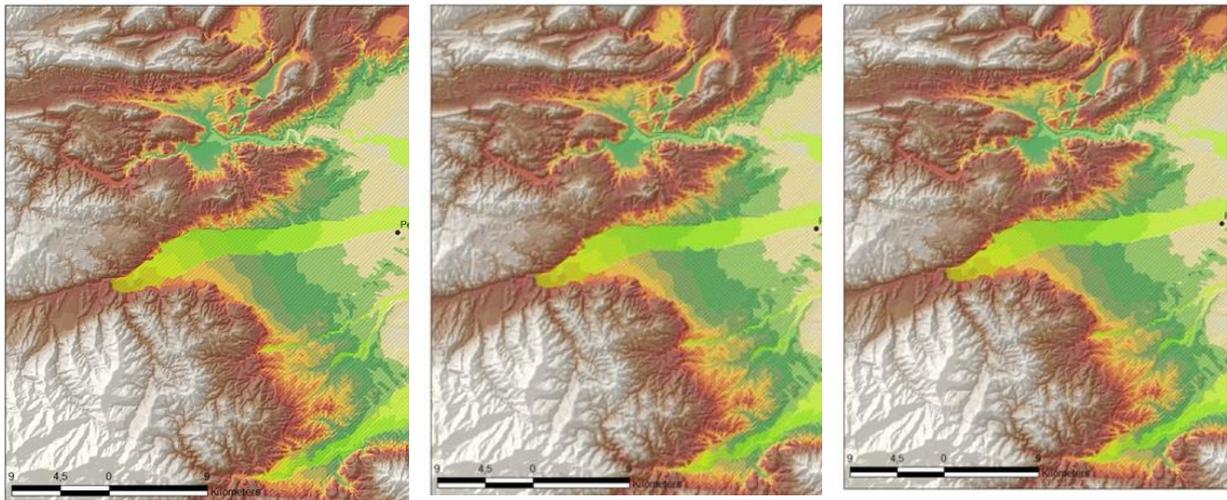
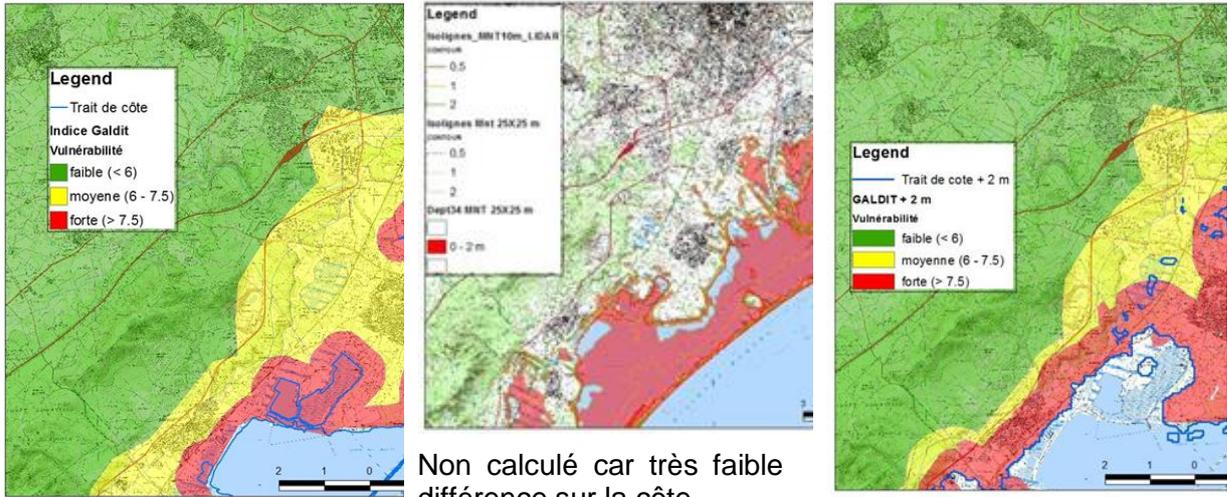


Illustration 9. Cartes de vulnérabilité selon la méthode GALDIT sur le karst de Midi-Libre en haut et de la plaine du Roussillon en bas, pour l'actuel (à gauche) et pour des scénarios de remontée du niveau marin (+1m au milieu et +2m à droite).



### **3. Expertise sur l'origine de la salinité observée dans les roselières de l'ancienne région Languedoc-Roussillon**

Les zones-humides au sein desquelles se développent les roselières littorales sont situées à des altitudes très proches du niveau des lagunes et de la mer et généralement à proximité de ces dernières. Dans ce cadre, comme nous venons de le voir avec la synthèse bibliographique, l'eau souterraine est fortement influencée par ces milieux salés. Les aquifères sous-jacents présentent eux aussi une minéralisation significative en lien avec le biseau salé (intrusion d'eau salée plus dense parfois loin à l'intérieur des terres). Enfin, des cours d'eau naturels ou canaux d'irrigations parcourent généralement les roselières, ils permettent un apport en eau important, indispensable au développement de ces plantes. En fonction de leur origine, parcours et débouché éventuel sur un milieu saumâtre ou salé, l'eau issue de ce réseau de surface peut être plus ou moins salée une partie, voir toute l'année. Ce réseau peut ainsi être vecteur de salinité jusqu'à la roselière.

Ainsi, chaque roselière est singulière et présente un fonctionnement propre, lié à son histoire (par exemple ancienne activité de salin, implantation suite à la mise en place d'une STEP), les aménagements éventuels (digue, canaux d'irrigation, barrage anti-sel), mais aussi sa gestion actuelle (irrigation conséquente ou apports faibles, apport d'une eau douce ou saumâtre, apport d'une station de lagunage) et ses relations avec le milieu environnant potentiellement saumâtre ou salé (connexion avec le milieu marin ou lagunaire etc.) tout au long de l'année ou seulement lors de périodes spécifiques (crues, tempêtes).

Au vu de ces singularités, une expertise hydrogéologique de chacun des sites a été réalisée afin de caractériser les origines probables de la salinité et d'établir la sensibilité actuelle de la roselière à la salinité. Ce travail d'expertise est issu d'un échange guidé avec les différents gestionnaires des sites, couplé à l'analyse de l'ensemble des données hydrogéologiques disponibles. Concernant ces données, elles ont été fournies par les gestionnaires. Il s'agit de mesures ponctuelles ou chroniques de salinité/conductivité électrique et de niveau d'eau à la fois dans la roselière, la nappe sous-jacente et dans l'étang lorsqu'une roselière s'y développe en périphérie. Les caractéristiques des eaux entrant dans les roselières sont également analysées.

Les 29 roselières étudiées dans le cadre de ce projet se développent presque toutes en bordure d'une lagune côtière. Le terme lagune signifie que l'on est en présence d'un étang côtier ouvert sur la mer. Ces lagunes sont ainsi soumises à des intrusions directes d'eau de mer via des graus. Les salinités varient au cours des saisons avec des valeurs généralement plus fortes en été qu'en hiver du fait d'un apport d'eau douce en période de hautes eaux et une augmentation des concentrations en été induite par l'évaporation sur le plan d'eau. Les profondeurs de ces lagunes sont limitées, elles sont généralement inférieures à 1 ou 2 m. Ces faibles hauteurs d'eau sont également responsables des variations significatives de la salinité, du fait des phénomènes de dilution-concentration.

Les roselières littorales se développent ainsi dans ces milieux de transition eau douce – eau salée. L'ADENA précise les points suivants concernant le fonctionnement des roselières. Ainsi, la roselière présente une tolérance à la salinité dès lors que l'eau reste à un stade saumâtre et que ces périodes n'excèdent pas quelques mois dans l'année. Par ailleurs, bien qu'elles se développent dans un milieu souvent saturé en eau, les périodes d'assecs sont bénéfiques au développement des roseaux, grâce à la minéralisation de la couche organique. Un assec estival de 1 à 2 mois tous les 2 à 4 ans est donc préconisé pour assurer la conservation de cet habitat.

Aussi, lorsque la donnée est disponible et en complément de l'analyse hydrogéologique, l'état de la roselière a été précisé. Cette analyse est issue du travail de l'ADENA réalisé dans le cadre du projet « Roselières ». Cet état est ensuite mis en relation avec les premiers éléments de fonctionnement définis.

Au final, pour chacun des sites, une première interprétation de l'origine de la salinisation et l'état général de la roselière en lien avec le fonctionnement global du site est proposée. Il s'agit à ce stade d'une interprétation au vu des éléments disponibles. Cette interprétation n'a pas vocation à remplacer une étude hydrogéologique qui permettrait de caractériser le fonctionnement du site.

À l'issue de cette analyse sur les 29 sites, une typologie de l'origine de la salinité auxquelles les roselières du littoral Occitanie sont confrontées sera proposée en lien avec les différents types de roselières étudiées. Par la suite, en fonction de cette typologie, la vulnérabilité des différentes roselières au phénomène d'intrusion saline sera définie dans un contexte de changement climatique (élévation du niveau de la mer et accroissement potentiel des phénomènes extrêmes telles que les tempêtes).

### 3.1. DESCRIPTION DES ROSELIÈRES

Une expertise hydrogéologique des 29 roselières a ainsi été réalisée suite à un entretien réalisé avec le gestionnaire de chacun des sites. Une fiche de synthèse est établie pour chacun des sites. Ils sont numérotés de 1 à 29, selon leur situation géographique, la première roselière étant la plus au sud, la plus proche de l'Espagne. Les 29 sites sont localisés dans l'illustration 10 ci-après.

Cette description reprend les trois éléments suivants :

- contexte hydrogéologique de la roselière ;
- caractérisation du réseau de mesure en place ;
- première interprétation quant à l'origine de la salinité.

Enfin, un réseau de suivi de la salinisation est proposé sur cinq sites pilotes. Pour ces roselières, les équipements mis en place seront présentés dans la fiche descriptive.

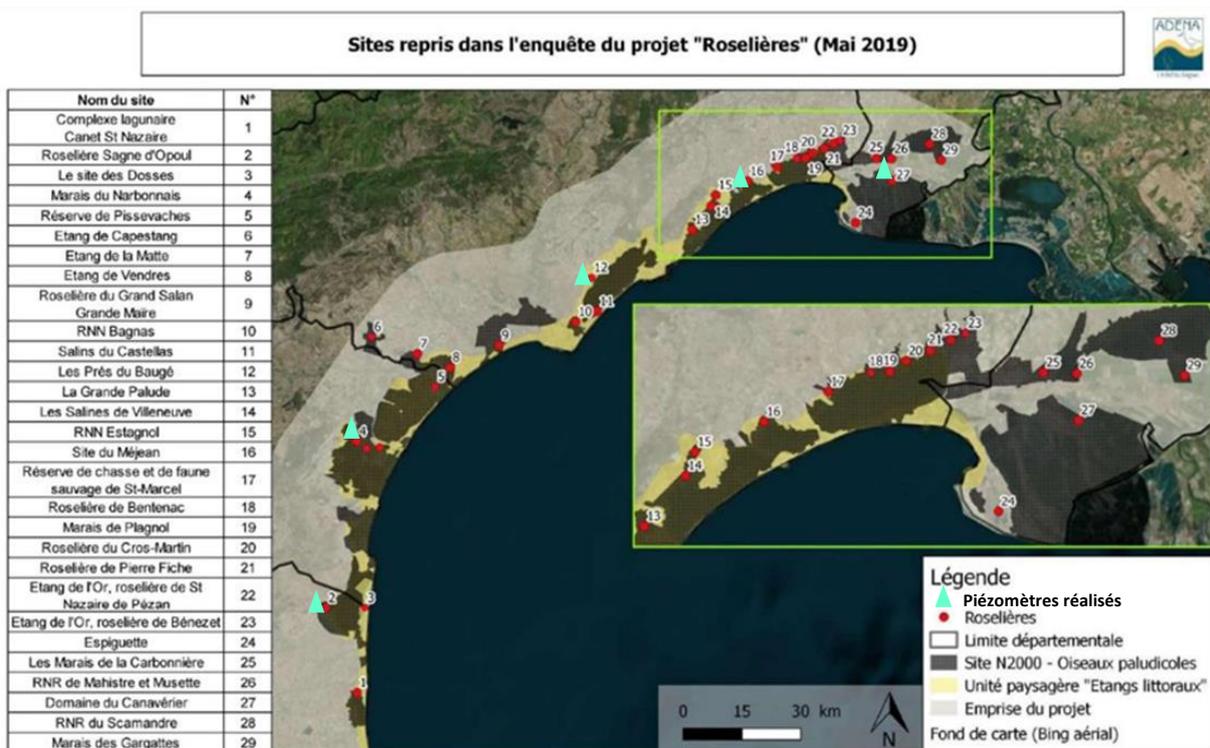


Illustration 10. Localisation des 29 roselières du projet (source ADENA) et des piézomètres réalisés dans le cadre du projet.

### 3.1.1. Étang de Canet - Saint-Nazaire (1)

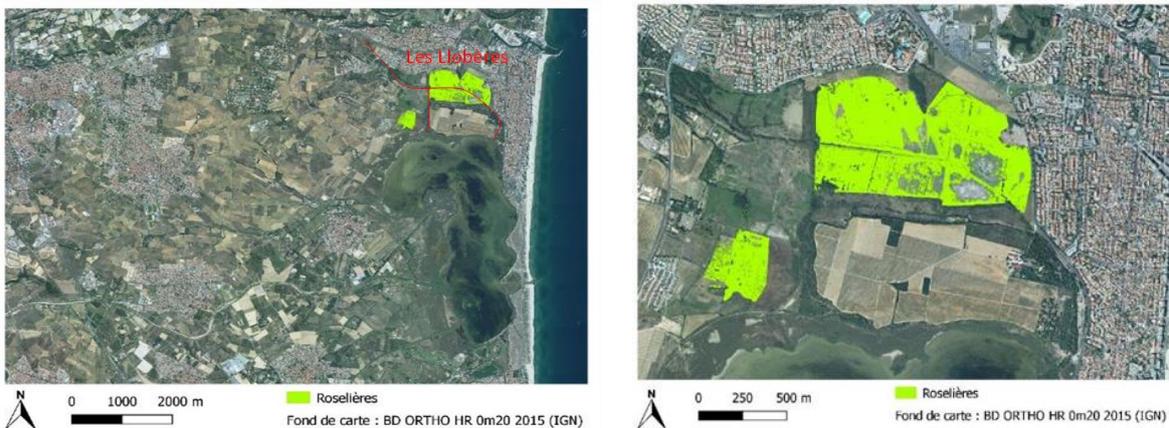


Illustration 11. Localisation de la roselière de l'étang de Canet.

#### a) Contexte roselière

Jusqu'en 1800 l'étang de Canet - Saint-Nazaire était une lagune, ouverte en trois endroits sur la mer. L'étang a ensuite été adouci pour générer une activité de pisciculture et de chasse des oiseaux pour nourrir les troupes napoléoniennes. Pour se faire, les graus Nord et Sud ont été fermés / comblés. Seul le grau médian (toujours présent actuellement) est resté actif. Il était géré manuellement, via la réalisation d'une tranchée au niveau du grau lorsque les niveaux de l'étang étaient hauts afin d'évacuer l'eau. À la fin de la période napoléonienne (vers 1820), l'étang est rendu à des familles privées. Ces dernières ont maintenu cette gestion afin de conserver une eau douce à faiblement saumâtre. À partir des années 1950 et de la construction de la route littorale, le grau a été figé. En 1978 l'étang est racheté par le conservatoire du littoral, une nouvelle gestion y est mise en place. Le grau est endigué et équipé de vannes en 1979-1980. La gestion actuelle en lagune conduit à des salinités plus fortes et également variables. La salinité moyenne est ainsi comprise entre 12 et 20 g/l, mais l'étang subit de fortes variations saisonnières, avec des valeurs pouvant atteindre 35 à 37 g/l en été et descendre à 5-6 g/l lors des fortes crues.

En effet, l'étang est le réceptacle d'un vaste bassin-versant avec des apports des cours d'eau du Réart, de la Fosseille et de l'Agouille de la Mar. L'apport en eau douce y est conséquent lors des fortes pluies. Il est également associé à un fort apport sédimentaire.

L'ouvrage aval constitué d'une digue et de vannes a conduit au surélévement de l'étang à la cote + 30 cm NGF. L'étang a alterné entre période de comblement et période de stabilisation. On constate aujourd'hui que l'ouverture des vannes (lorsque les niveaux sont hauts dans l'étang) conduit à l'export de sédiments vers la mer. Cette surélévation engendre également un transfert d'eau salée / saumâtre de l'étang, via la nappe, vers les zones périphériques de l'étang qui sont situées à très faible altitude.

Depuis une vingtaine d'années on assiste au recul des roselières qui étaient situées en bordure d'étang. Au début des années 1990, les cours d'eau ont été recalibrés, l'eau douce n'arrive plus dans ces roselières mais de façon localisée dans l'étang.

Le Syndicat du Bassin Versant du Réart mène actuellement un projet de re-deltaïisation des cours des trois principaux émissaires de l'étang. L'objectif est de reconnecter les roselières à ces cours d'eau, et d'y restaurer l'apport sédimentaire. Ces aménagements doivent permettre à terme d'adoucir l'eau des roselières et des milieux périphériques et également de lutter contre l'ensablement de l'étang, avec un dépôt sédimentaire en périphérie de l'étang.

À ce jour, le comblement de l'étang est faible de l'ordre de 1 à 2 mm/ an malgré l'apport important par les cours d'eau. En effet, l'export sédimentaire vers la mer est fort lors de l'ouverture des vannes.

Aussi, la roselière principale est située au nord de l'étang de Canet, elle présente une superficie d'environ 65 ha. Elle se développe sur un secteur bas qui forme une « cuvette ». Elle est alimentée par le cours d'eau temporaire « Les Llobères » (voir localisation Illustration 11), qui apporte une eau douce uniquement lors des fortes crues (1 à 2 fois par an). La cuvette se remplit lors de ces périodes de hautes eaux et reste en eau jusqu'au début de l'été (juin). Le cours d'eau les Llobères se jette dans l'étang. Aussi, lors de forts coups de mer, le niveau dans la lagune augmente et de l'eau de l'étang remonte dans la roselière via les Llobères. Il n'y a pas à ce jour de mesure (hauteur ou salinité) dans la roselière, toutefois ce suivi est envisagé.

Cette roselière au nord présente une tendance à la dégradation. L'apport en eau douce est relativement stable au cours de ces dernières années. Par contre, du fait de l'intrusion d'eau salée ou saumâtre via les Llobères la conductivité de l'eau au sein de la roselière augmente. Cette intrusion a lieu lors des tempêtes. Les gestionnaires notent que leur fréquence et leur intensité ont été accrues ces dernières années (2018 – 2019 – 2020 → janvier : Gloria).

En parallèle, la fréquentation des roselières par les sangliers engendre d'importantes dégradations. Aussi, l'Herbe de la Pampa est en train de coloniser progressivement la roselière.

Finalement, la dégradation de la roselière a été progressive et les gestionnaires n'arrivent pas à la dater. Ils notent toutefois la tendance claire à la diminution de sa superficie (au bénéfice de la sansouïre, végétation adaptée à la submersion marine fréquente) et la moins bonne qualité des roseaux : hauteur plus faible comprise entre 1,2 m et 1,5 au lieu de 2,5 m et également des diamètres plus faibles, tout comme la densité.

### **b) Réseau de mesures**

Pas de piézomètre.

Suivi de la roselière : non.

Suivi de l'étang : niveau, conductivité : 1 fois par mois.

### **c) Première interprétation**

L'état de la roselière située au nord se dégrade, probablement en lien avec un apport accru d'eau salé / saumâtre provenant de l'étang lors des périodes de tempêtes, via le cours d'eau temporaire des Llobères. L'intensité et la fréquence de ces tempêtes a augmenté ces dernières années. Il n'y a toutefois pas à ce jour de mesure pour étayer ces observations et interprétations. La mise en place d'un suivi est ainsi envisagée.

### 3.1.2. Sagnes d'Opoul – étang Salses-Leucate (2)

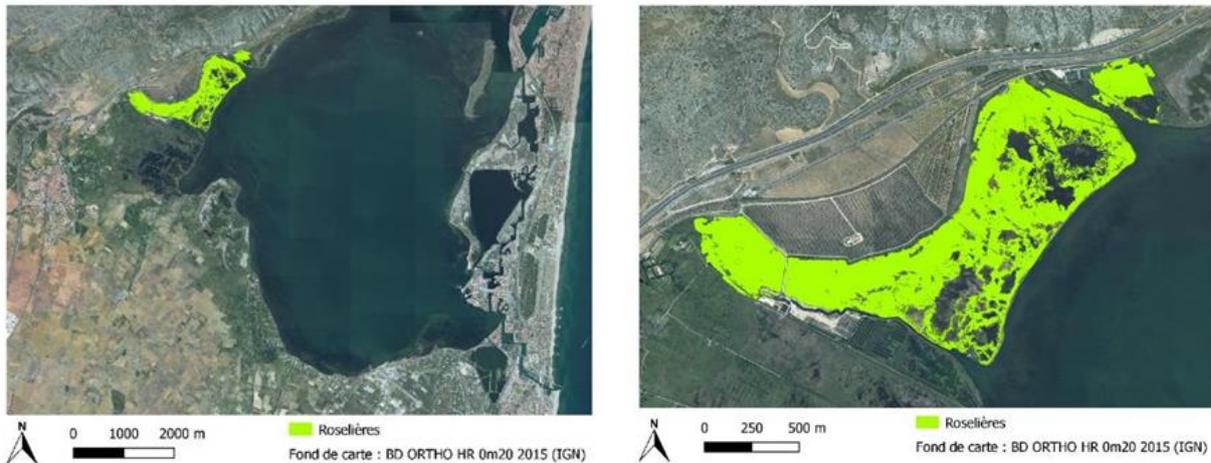


Illustration 12. Localisation de la roselière des Sagnes d'Opoul.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 100 ha est située au nord de l'étang de Salses-Leucate. Ce dernier est un étang côtier de 5 400 ha connecté à la mer via trois graus artificiels. Ils ont été réalisés dans les années 60-70, dans le cadre de la mission Racine, pour la création de ports de plaisance. Précédemment caractérisé par une eau faiblement saumâtre, ces aménagements ont conduit à une salinisation quasi instantanée de l'étang, bouleversant les habitats, la faune et la flore. Avant ces aménagements, la bordure de l'étang, caractérisée par des niveaux peu profonds, abritait une roselière dense et homogène. À cette époque, le secteur des Sagnes d'Opoul était peu salé (à la fois au niveau de l'aquifère karstique, la nappe superficielle ainsi que les sédiments), la roselière était en bon état. L'ouverture « instantanée » sur le milieu marin a conduit à sa dégradation.

À ce jour, un nouvel équilibre est atteint dans l'étang de Salses-Leucate. Il est toutefois caractérisé par une salinité qui varie légèrement selon les zones. Ainsi, à l'ouest, à proximité des résurgences karstiques des Corbières, l'eau est moins salée. À l'est et au nord du fait des entrées d'eau de mer importantes, mais aussi à cause de la faible colonne d'eau et du phénomène d'évaporation en été qui entraîne une augmentation des concentrations, l'eau est très salée (salinité supérieure à 30 g/l).

La roselière est actuellement partiellement isolée de l'étang et également très légèrement surélevée par rapport à ce dernier. En effet, elle a pu se développer en amont d'un bourrelet naturel, constitué d'un mélange d'argile de vase et de végétation. Ce dernier est situé en bord d'étang et sépare ainsi la roselière du plan d'eau. Le cordon argileux est issu d'un phénomène sédimentaire associé à la zone de battement de vagues, responsable d'une accumulation sédimentaire sur ce secteur. À ce jour le bourrelet est dégradé par endroits du fait d'une mauvaise gestion, favorisant ainsi les échanges entre l'étang et la roselière.

La roselière est alimentée en eau par la source de Fontestramar qui est caractérisée par un fort débit (débit annuel moyen  $\approx 2\text{m}^3/\text{s}$ ) et une conductivité électrique significative (1 à 10 mS/cm). Il existe également de nombreux autres exutoires du karst (dont la source de Fontdame), au sein de la roselière, mais aussi dans l'étang. Ces sorties présentent un caractère plus diffus et sont caractérisées par des débits généralement faibles, variables au cours de l'année, évoluant selon les conditions hydrologiques.

La salinité significative de la source karstique de Fontestramar est liée aux intrusions d'eaux saumâtres profondes, qui s'effectuent à plusieurs centaines de mètres dans les conduits karstiques (Fleury *et al.*, 2009, BRGM/RP-57612-FR). Les exutoires secondaires sont probablement eux aussi saumâtres.

À ce jour, une dégradation de l'état de la roselière, qui se caractérise notamment par une perte de superficie, est observée. Les secteurs touchés sont situés à proximité des zones où le cordon argileux est détérioré (affaiblissement / affaissement de ce dernier).

Enfin, la présence d'espèces envahissantes, telles que le sanglier et le ragondin ont également un impact notable sur l'état de la roselière. Ces derniers déstructurent en effet la roselière et endommagent les aménagements/ouvrages hydrauliques (perforation des digues et canaux pouvant causer localement des effondrements). Aussi, la présence de l'arbuste *Baccharis halimifolia* dans la roselière, avec une forte prolifération dans le secteur de Fontdame, la déséquilibre localement. Ce déséquilibre est actuellement en progression.

### **b) Réseau de mesures**

Deux piézomètres réalisés dans le cadre du projet.

Suivi des apports via les canaux aux exutoires des résurgences.

Suivi de la roselière : oui, mais non conventionnel, en cours de « standardisation ».

Suivi de l'étang : niveau + conductivité.

### **c) Première interprétation**

La roselière des Sagnes d'Opoul s'est développée en amont d'un cordon d'argile, en bordure de l'étang de Salses-Leucate. Ce secteur est ainsi partiellement isolé de l'étang et de ses eaux salées. La roselière est alimentée en eau légèrement saumâtre par les sources du karst des Corbières, dont Fontestramar est la plus importante (débits moyens forts de l'ordre de 2 m<sup>3</sup>/s).

L'état de la roselière se dégrade aujourd'hui. Plusieurs facteurs sont avancés, dont la détérioration du cordon argileux responsable d'une intrusion d'eau salée de l'étang, et également la prolifération d'espèces invasives (*Baccharis halimifolia*).

Ce site manque à ce jour de données, indispensables à la caractérisation des phénomènes qui prennent place. Une étude hydrogéologique est toutefois envisagée par les gestionnaires, afin de caractériser le fonctionnement de la zone humide. Elle sera associée à la mise en place d'un réseau de piézomètres qui viendra compléter les deux ouvrages mis en place dans le cadre de la présente convention.

Enfin, un atterrissement de la roselière est envisageable. Afin d'évaluer l'éventuel comblement de la roselière, nous proposons de mettre en place une ou plusieurs échelles limnimétriques disposées sur le sol de la roselière, pouvant faire office d'échelle limnimétrique. Les deux piézomètres mis en place présentent une graduation de 0 à 1 m, le 0 correspondant au niveau du sol dans la roselière le jour de sa réalisation. Un suivi annuel est proposé, sa poursuite sur du moyen / long terme devrait permettre d'appréhender ce phénomène de comblement progressif (en général quelques centimètres à dizaine de centimètres par décennie).

#### d) Équipement mis en place

Deux piézomètres ont été réalisés dans la roselière le 13 novembre 2020 (voir localisation Illustration 13). Profond de 1 m et crépiné de -1m à -50 cm, ils permettront de suivre les paramètres au sein de la nappe peu profonde (niveau / conductivité électrique) à hauteur du système racinaire. Le premier piézomètre positionné au sud permettra de suivre la roselière relativement isolée de la lagune, alors que le second au nord est à l'amont de la roselière impactée par les intrusions d'eau salée de l'étang du fait du mauvais état sur ce secteur du cordon argileux. Deux sondes CTD (conductivité, température, niveau) seront mises en place en 2021 pour un suivi en continu de ces paramètres.

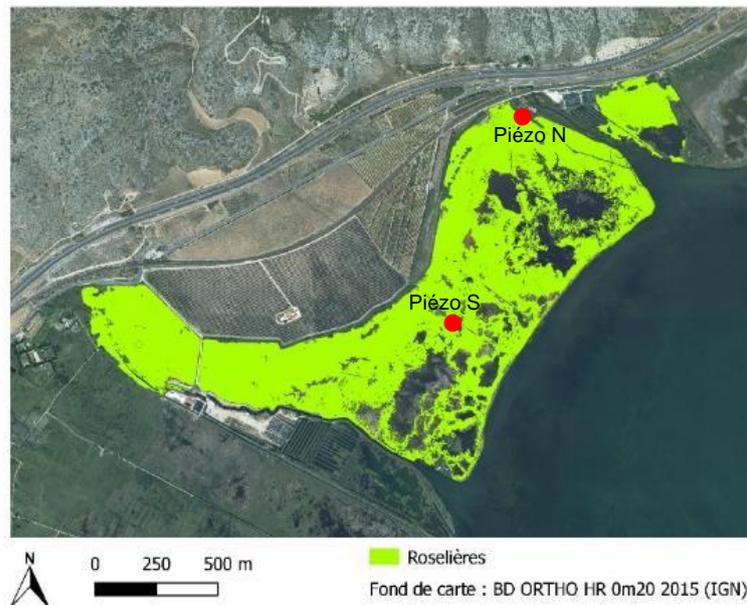


Illustration 13. Localisation des piézomètres Nord et Sud réalisés pour le suivi de la salinité de la roselière des Sagnes d'Opoul.

Aussi, les conductivités électriques mesurées lors de la réalisation des piézomètres (13 novembre 2020) présentaient de fortes différences entre le site Nord et le site Sud, à la fois sur les eaux de la nappe peu profonde et sur les eaux de surface de la roselière (lame d'eau d'environ 2 à 5 cm) :

- piézomètre Nord : 29,9 mS/cm ; eau de surface : 14,8 mS/cm ;
- piézomètre Sud : 8,2 mS/cm ; eau de surface : 3,8 mS/cm.

Ces valeurs montrent que le secteur Nord est beaucoup plus salé, en lien avec les intrusions salines directes du fait de la dégradation du cordon argileux au nord.

Parallèlement à l'équipement mis en place, un suivi manuel (niveau/conductivité/température ?) de l'eau libre dans la roselière sur le site est préconisé. Le pas de temps mensuel semble adapté.



*Illustration 14. Réalisation des piézomètres Sud (à gauche) et Nord (à droite) et conductivité électrique mesurée.*

**Bibliographie :**

**Fleury, P., Ladouche, B., Dewandel, B., Dörfliger, N., P. Le Strat, Grunenwald, G., Izac, J-L., Cubizolles, J.,** 2009. Evaluation des ressources en eau souterraine des systèmes aquifères karstiques des Corbières. Phase III – Démonstration de la ressource. Rapport « final». BRGM/RP-57612-FR, 148 p, 58 ill., 4 ann.

### 3.1.3. Site des Dosses (3)

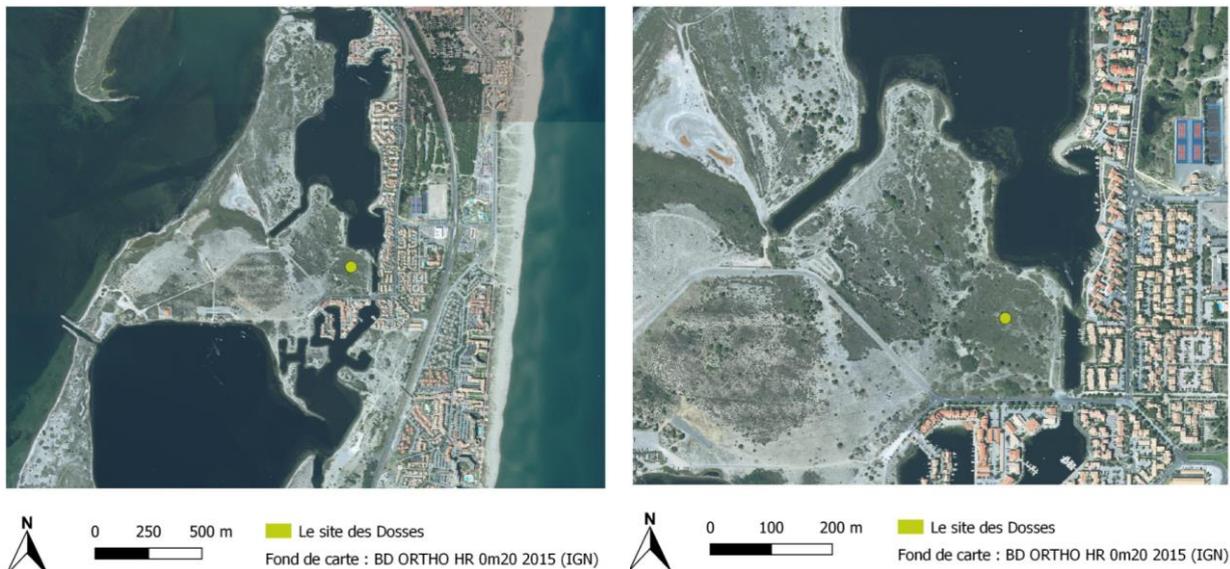


Illustration 15. Localisation de la roselière des Dosses.

#### a) Contexte roselière

Après investigation cette roselière est de taille très réduite, il n'y pas de *Phragmitaie* pure de plus de 0,1 ha. Seul quelques linéaires de *Phragmite australis* sont présents à certains endroits en bordure des masses d'eau libres.

### 3.1.4. Marais du Narbonnais – Le Petit Castélou - étang Bages-Sigean (4)

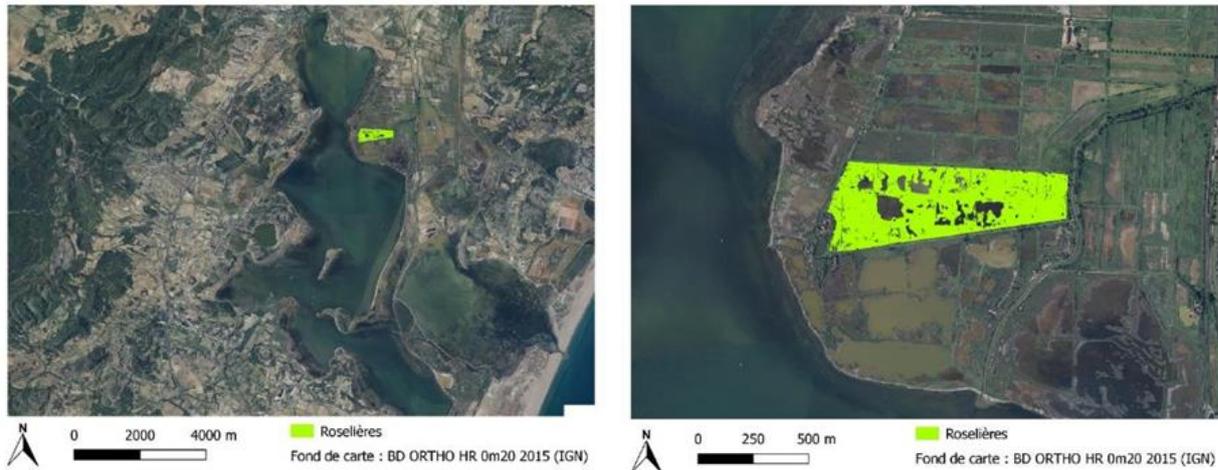


Illustration 16. Localisation de la roselière du « Petit Castélou ».

#### a) Contexte roselière

La superficie de la roselière du Petit Castélou est d'environ 32 ha. Elle est située au nord de l'étang de Bages-Sigean. Ce dernier est un étang côtier connecté à la mer via le grau à Port-la-Nouvelle.

L'étang de Bages-Sigean est principalement alimenté :

- par le canal de la Robine au nord-est, alimenté par les eaux de l'Aude. De plus, il reçoit les eaux d'un bassin versant peu étendu mais fortement urbanisé et industrialisé. Ce canal rejoint la mer dans le chenal de Port-la-Nouvelle mais les deux tiers de son débit (près de 40 Mm<sup>3</sup>/an) alimentent la partie nord de l'étang par le déversoir du Canélou ;
- par la Berre à l'ouest, qui recueille les eaux d'un bassin versant de 236 km<sup>2</sup> peu urbanisé et majoritairement occupé par de la garrigue et des vignes. Cette rivière apporte environ 35 Mm<sup>3</sup> d'eau par an dans la partie centrale de l'étang ;
- de façon temporaire par le Rec de Veyret au nord, le Rieu au sud, ainsi que plusieurs autres ruisseaux à l'ouest, qui reçoivent les eaux de trois bassins versants de superficie équivalente (55 à 60 km<sup>2</sup>). Leurs apports à l'étang sont également du même ordre de grandeur (6 à 12 Mm<sup>3</sup>/an).

Les massifs calcaires voisins possèdent un karst dont le réseau hydrogéologique est réduit. Il n'y a pratiquement pas de résurgences artésiennes aux abords immédiats de l'étang. Toutefois, il existe un certain nombre de sources situées au sud de Port-la-Nouvelle (Hydrogeoconsult, 1982).

Le volume annuel d'eau douce drainé par l'ensemble du bassin versant est ainsi estimé à 120 Mm<sup>3</sup>. La répartition de ces apports entre les bassins sud et nord de l'étang n'est cependant pas homogène : environ 75 % se font au nord de l'île de l'Aude contre 10 % dans sa partie sud. Selon les conditions météorologiques, les apports de la Robine, qui rejoignent le chenal de Port-la-Nouvelle, peuvent également rejoindre la zone sud de l'étang.

L'étang de Bages-Sigean communique avec la mer par le grau de Port-la-Nouvelle, long de 2 Km, canalisé et aménagé en port de commerce depuis le XIXe siècle. Ce grau a fait l'objet de divers aménagements qui limitent les échanges avec la mer, tel que la présence d'un pont SNCF en amont du chenal (côté étang) et l'installation, dans les années 1950, d'un barrage en palplanches et à vannes entre le chenal et l'étang, pour limiter l'envasement du port par les sédiments de l'étang. Cet ouvrage a été partiellement enlevé en avril 2004, dans le but de faciliter les échanges mer/étang. Les suivis effectués sur l'étang (RSL et FOGEM notamment) permettront probablement, dans les prochaines années, d'observer l'impact de cet enlèvement du barrage à vannes sur la lagune.

De plus, l'étang de Bages-Sigean présente la particularité de posséder deux îles dans sa partie centrale : l'île de Planasse et la presqu'île de l'Aute reliée au rivage au nord-est par une bande de sédiments, appelée la « sèche ». Cette presqu'île constitue ainsi une frontière naturelle entre les bassins sud et nord de l'étang. Elle limite l'influence des eaux marines dans les zones les plus éloignées de la mer. De ce fait un gradient décroissant de salinité peut être observé du sud au nord : les eaux du sud de l'étang restent généralement assez marinisées, tandis que les eaux du nord de l'étang ont des salinités beaucoup plus dépendantes des conditions météorologiques (donc plus variables).

La roselière est en bordure de l'étang, partiellement isolée par un secteur composé de Pres salé, de sansouïre et de fourrés halophiles (environ 200 à 300 m de large) ; elle est légèrement surélevée par rapport à l'étang. Elle est alimentée en eau à l'est par le canal de la Robine. L'eau est ensuite apportée dans la roselière via un réseau de canaux. Cette eau en provenance de l'Aude est douce. Le secteur du Petit Castélou possède une mosaïque de roselières différentes dont les caractéristiques structurales et le niveau d'atterrissement varient selon les patches. Un diagnostic du bon état de fonctionnement de la roselière a été appliqué au cours du printemps 2020 et sera disponible dans un prochain rapport.

## b) Réseau de mesures antérieur à l'étude

Pas de piézomètre.

Suivi de la roselière : non.

Suivi de l'étang de Bages-Sigean : niveau + salinité à Peyriac (en face de la roselière) et à Bages. Les données mesurées sont fournies ci-après (Illustration 17).

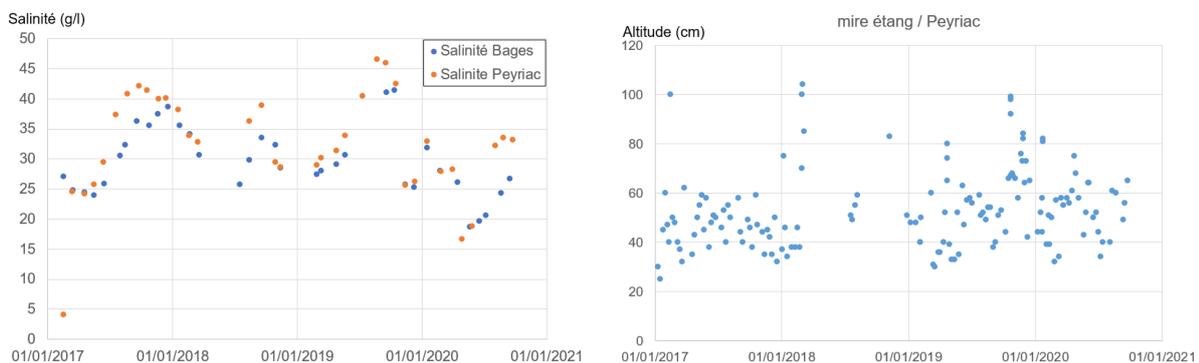


Illustration 17. Salinité dans l'étang de Bages Sigean (station de Bages et de Peyriac).

Concernant les niveaux d'eau au sein de l'étang, une forte influence du vent est observée sur la lagune avec d'importantes variations qui sont généralement du sud vers le nord, la roselière étant dans la partie nord de l'étang.

Le niveau d'eau de l'étang mesuré à Peyriac montre d'importantes fluctuations pouvant atteindre 80 cm. Les niveaux semblent plutôt liés aux conditions climatiques (vent notamment), il n'y a pas franchement de tendance saisonnière qui se dégage.

À l'inverse, concernant la salinité sur les deux stations de mesures, on observe une fluctuation saisonnière de la salinité. En été la salinité de l'étang est généralement supérieure à celle de la mer. Des valeurs plus basses comprises entre 20 et 30 g/l sont obtenues le reste de l'année.

L'étang de Bages-Sigean est ainsi en connexion avec la mer. En période estivale, l'évaporation forte sur le plan d'eau conduit à une concentration des minéraux, aboutissant à des salinités supérieures à celle de l'eau de mer. Le reste de l'année les apports d'eau douce à l'étang permettent une dilution.

### **c) Première interprétation**

La roselière est en lien direct avec l'étang côtier saumâtre. Toutefois, les apports conséquents d'eau douce via le canal de la Robine permettent un bon développement de la roselière. Dans la partie orientale (au plus proche du canal), la roselière est en bon état ; plus à l'ouest sa qualité se dégrade du fait d'une influence plus forte de l'étang caractérisé par une forte salinité (20 à 45 g/l).

### **d) Équipement envisagé/préconisé**

Au vu des premières données et éléments techniques sur le site de la roselière, il semblerait que le plan d'eau de la roselière est essentiellement constitué par l'eau douce issue du canal de la Robine. Par contre, la proximité de l'étang et les fortes salinités qui y sont observées militent en faveur d'une nappe fortement impactée par la salinité. À ce titre nous préconisons la réalisation d'un suivi de la nappe en continu et un suivi ponctuel du plan d'eau de la roselière.

Il est ainsi proposé de mettre en place un piézomètre à 1 m de profondeur sur la parcelle identifiée sur la carte (voir ci-dessous) et de l'équiper à l'aide d'une sonde CTD. Un suivi ponctuel de la roselière à proximité du piézomètre sera effectué par l'ADENA 5 à 6 fois par an. Les niveaux et la conductivité seront ainsi mesurés.

À l'issue d'une année de mesure, l'analyse des données permettra soit de valider le suivi en cours et sa poursuite, soit proposer une augmentation / réduction de la fréquence de mesure au niveau du plan d'eau de la roselière en fonction de la variabilité des paramètres mesurés.

Enfin, un atterrissement de la roselière semble être observé. Il n'y a toutefois pas de mesures actuellement de ce paramètre. Afin d'évaluer l'éventuel comblement de la roselière, nous proposons de mettre en place une ou plusieurs échelles limnimétriques disposées sur le sol de la roselière. Un suivi annuel est proposé, sa poursuite sur du moyen / longs terme devrait permettre d'appréhender ce phénomène de comblement progressif (en général quelques centimètres à dizaine de centimètres par décennie).

### e) Équipement mis en place

Un piézomètre a été réalisé dans la roselière le 27 octobre 2020, sa localisation est précisée Illustration 18. Profond de 1 m et crépiné de -1 m à -50 cm, il permettra de suivre les paramètres au sein de la nappe peu profonde (niveau / conductivité électrique). Les mesures réalisées le jour de la mise en place ont révélé des valeurs faibles et proches de la conductivité électrique égale à 600 uS/cm à la fois dans les eaux à la surface de la roselière (1 à 3 cm de hauteur d'eau) et dans la nappe superficielle (50 cm à 1 m de profondeur). La sonde CTD a été mise en place le 26 novembre 2020.

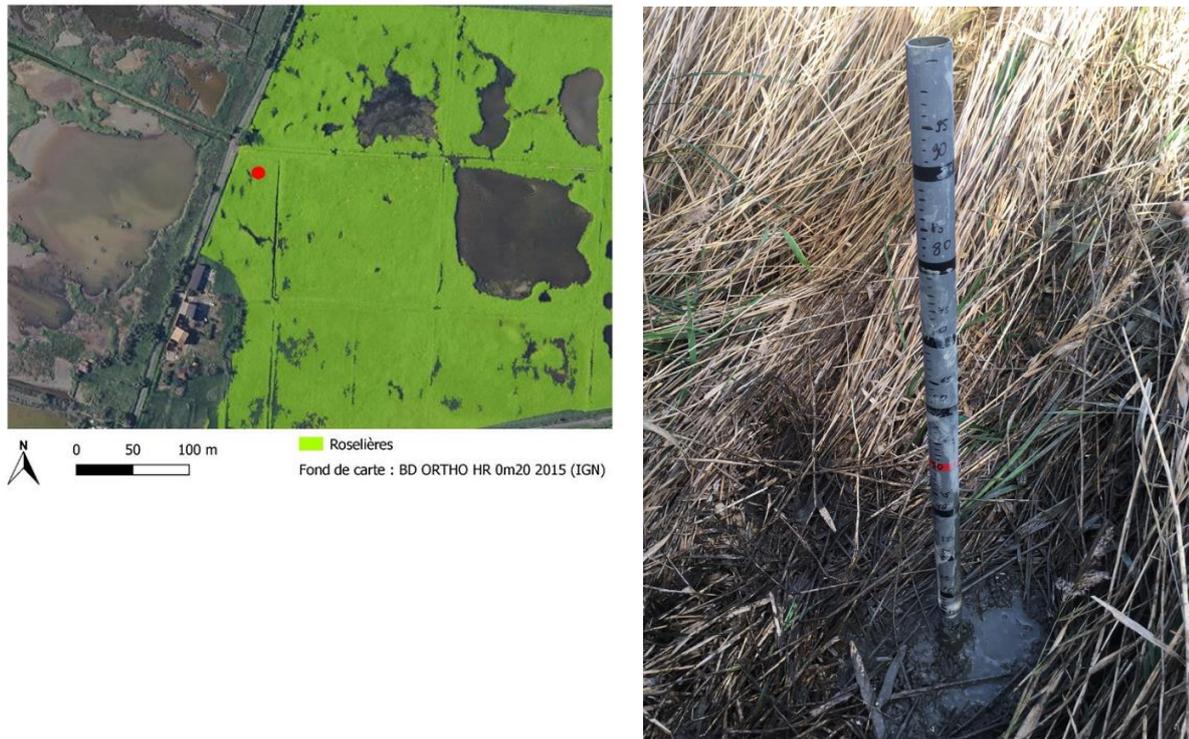


Illustration 18. Piézomètre mis en place pour le suivi de la salinité sur la roselière du Petit Catelou.

### 3.1.5. Étang Pissevaches (5)

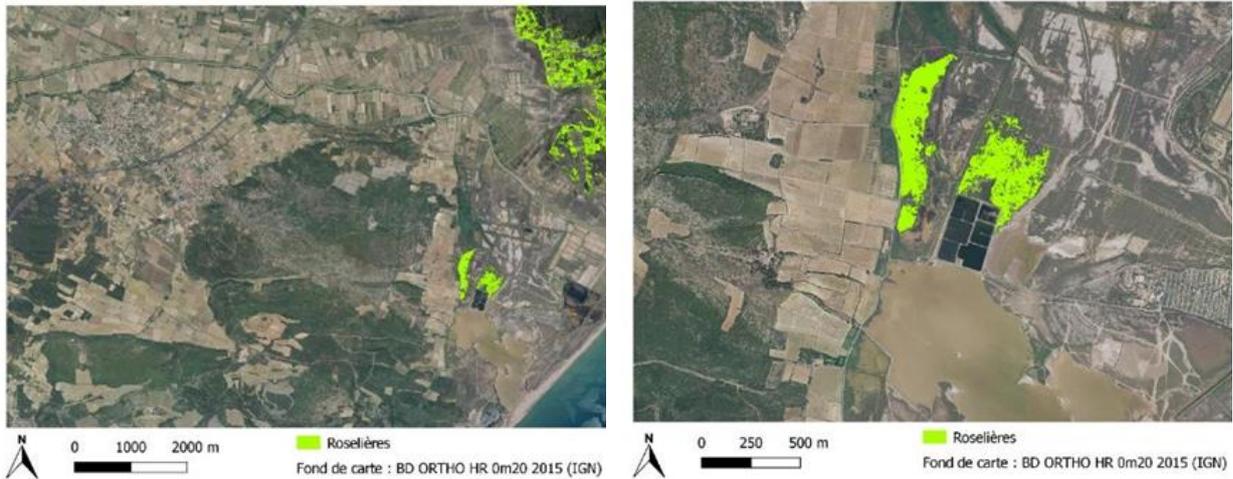


Illustration 19. Localisation de la roselière de l'étang de Pissevache.

#### a) Contexte roselière

La superficie de cette roselière est d'environ 15 ha. Elle est située au bord de l'étang dans la zone deltaïque de l'Aude, à environ 2 km de la mer. L'étang est connecté à la mer et présente une forte salinité (conductivité  $\approx$  40-200 mS/cm). La roselière en bordure de l'étang est partiellement isolée par la STEP (300 à 400 m de l'étang). À l'Est de la STEP une route sépare hydrauliquement la STEP de l'étang. En hautes eaux, en particulier en période de débordement de l'Aude, le niveau de l'étang est haut (alimenté par les crues de l'Aude), la route est submergée, et de l'eau de l'étang inonde la zone à l'Est de la STEP. Ce secteur est associé à un développement d'une sansouïre

La roselière est essentiellement alimentée en eau par une STEP. L'apport est conséquent au printemps et en été (afflux touristique). À proximité de la STEP, il n'y a pas de développement de roselière car la tranche d'eau est trop importante. La roselière présente un bon état général.

#### b) Réseau mesures (voir localisation carte Illustration 20)

Piézomètre : oui.

Suivi de la roselière : oui.

Suivi de l'étang : oui (niveau + conductivité).

#### c) Première interprétation

Le piézomètre situé au nord de la roselière, profond de 50 cm, appartient au Rézo du Rozo. Il présente des conductivités comprises entre 5 et 20 mS/cm. Dans la roselière la conductivité est moins importante, elle évolue sur ce site entre 1 et 10 mS/cm.

La nappe est visiblement très salée sur ce secteur, en relation avec l'étang « sur-salé » de Pissevaches (conductivité élevée  $\approx$  40-200 mS/cm). Les valeurs fortes de la minéralisation sont liées à l'évaporation sur le plan d'eau engendrant une concentration des minéraux. Aussi, le secteur au nord de la roselière correspond au lieu-dit « Terre salée » témoignant de l'intrusion saline.

L'apport en eau douce de la STEP garantie une minéralisation « limitée » dans le plan d'eau de la roselière (pouvant être très faible à proximité immédiate de la STEP). Au niveau de la zone racinaire (piézomètre à 50 cm de profondeur) l'eau est plus minéralisée, résultant d'un mélange entre l'eau très salée de la nappe et l'eau douce de la STEP circulant dans le plan d'eau.

La partie nord de la roselière de Pissevaches présente un niveau de vulnérabilité important. En effet, ce secteur semble concerné par des taux de salinité légèrement plus élevés ainsi qu'une fragmentation plus importante de la roselière. Les roseaux y sont de faible hauteur et de faible diamètre. Pour les patches de roselière situés à proximité de la STEP, ils sont denses, peu fragmentés et bénéficient des apports en eau douce conséquents. Les niveaux d'eau y sont faibles au cours du passage de l'ADENA (mai 2020) et les roseaux sont de diamètre et de hauteur importantes. Le nombre de tiges fleuries y est également conséquent.

Des échelles limnimétriques sont présentes sur la roselière. Nivelées, elles permettent de suivre le niveau dans la roselière.

Ce secteur sur le delta de l'Aude présente probablement un ensablement, du fait des apports sédimentaires lors des débordements de l'Aude.

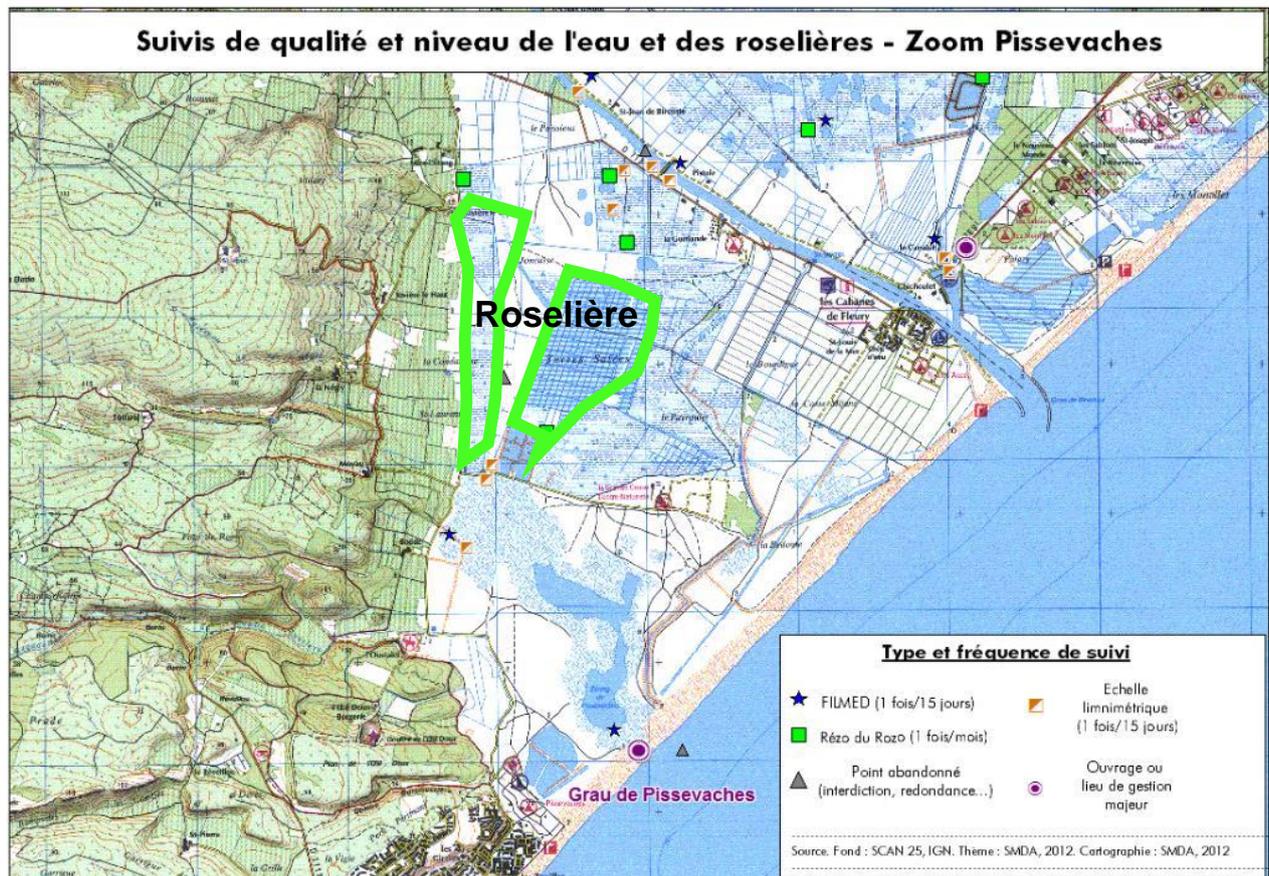
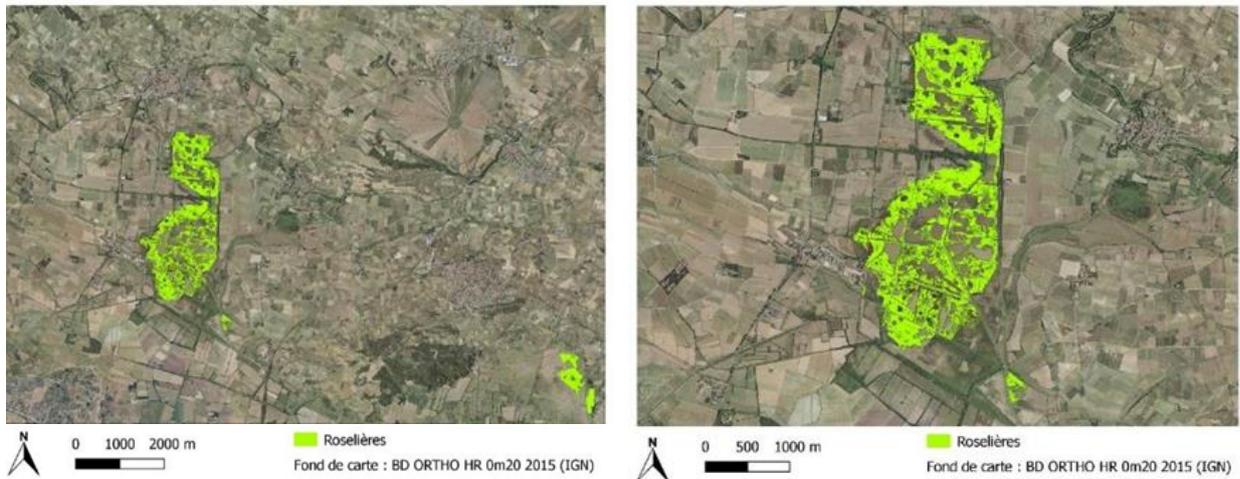


Illustration 20. Localisation des points de suivi sur la roselière de l'étang de Pissevache.

### 3.1.6. Étang Capestang (6)



*Illustration 21. Localisation de la roselière de l'étang de Capestang.*

#### **a) Contexte roselière**

La superficie de cette roselière est d'environ 270 ha. La roselière domine largement le paysage sur l'étang de Capestang. Ce dernier est situé à une quinzaine de kilomètres à l'intérieur des terres en rive gauche de l'Aude. Il se distingue des autres étangs étudiés par sa position plus continentale. Ce dernier n'est donc pas concerné par les phénomènes actuels d'intrusion marine.

Jusqu'au XIV<sup>e</sup> siècle ce secteur était connecté au milieu marin (voir Illustration 22, Ambert, 1991). La salinité persistante observée aujourd'hui sur le secteur réside dans la présence d'une eau marine ancienne. Le phénomène de dilution a pris place au cours des siècles grâce à la recharge, mais l'aquifère semble caractérisé par des vitesses d'écoulement lentes, responsables d'une salinité résiduelle sur le secteur.

Capestang fait partie intégrante du complexe de zones humides de l'embouchure de l'Aude. Par l'intermédiaire d'un réseau de canaux, il est en lien avec les milieux plus aval de la Matte, Vendres et Pissevaches.

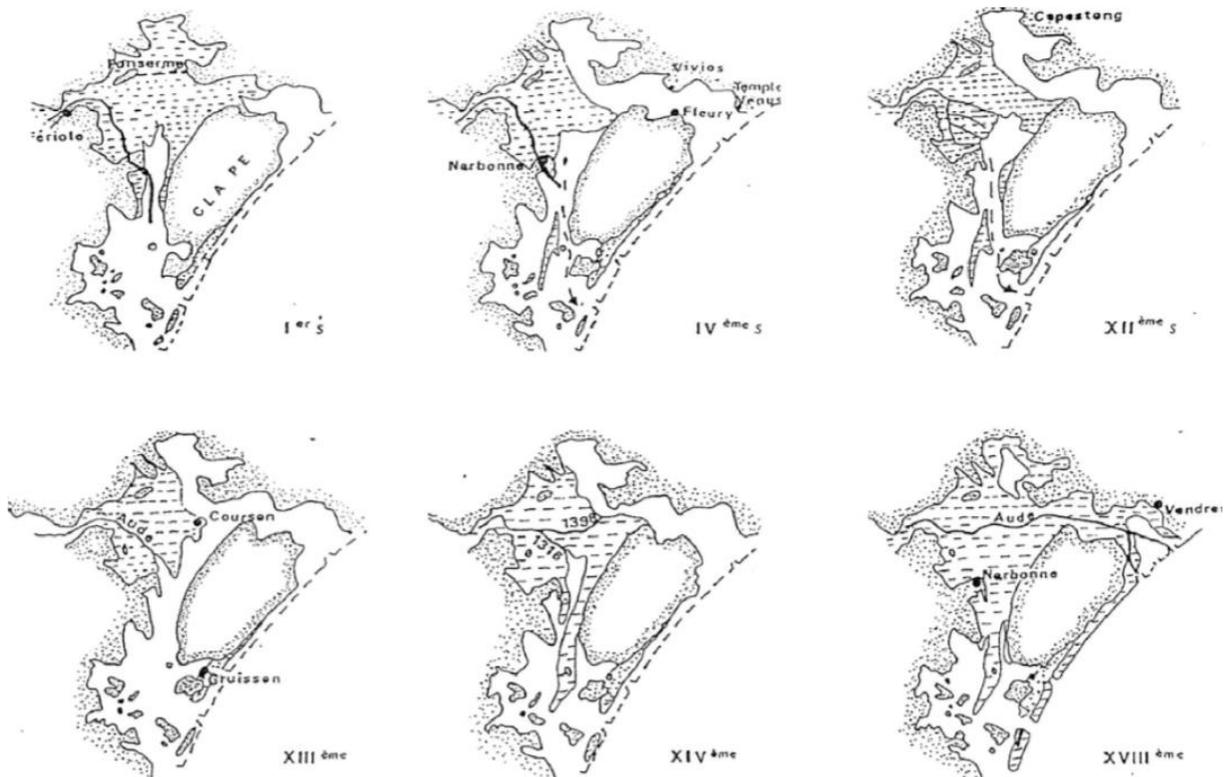


Illustration 22. Reconstitution des paléographies historiques du delta de l'Aude (Verdeil 1970, modifié par Ambert 1991).

Le développement de cette roselière est piloté par l'alimentation en eau du site, qui se fait via des canaux d'irrigation issus d'une prise d'eau sur l'Aude. L'eau apportée est ainsi douce.

Un comblement progressif de la roselière est observé, impliquant un développement progressif de l'habitat vers le centre de l'étang. La roselière présente un bon état général (expansion de cette dernière).

### **b) Réseau de mesures**

Piézomètre : oui.

Suivi de la roselière : oui.

### **c) Première interprétation**

Il existe une salinité résiduelle dans la nappe sur ce secteur du fait de la présence d'un environnement marin jusqu'au XIV<sup>e</sup> siècle, cette dernière est aujourd'hui toutefois limitée (lessivage au cours des siècles). Il n'y a toutefois plus depuis plusieurs siècles maintenant d'intrusion saline sur le secteur éloigné de la mer. Les apports en eau douce conséquents issus de l'Aude permettent le bon développement de cette roselière. Un comblement progressif de l'étang est probable, engendrant une expansion de l'habitat vers le centre de l'étang.

### **d) Bibliographie**

**Ambert P.**, 1991. L'évolution géomorphologique du Languedoc Central (Grands Causses méridionaux – Piémont languedocien) depuis le Néogène. Thèse d'État, Université Aix-Marseille, 193 p.

### 3.1.7. Étang de la Matte (7)

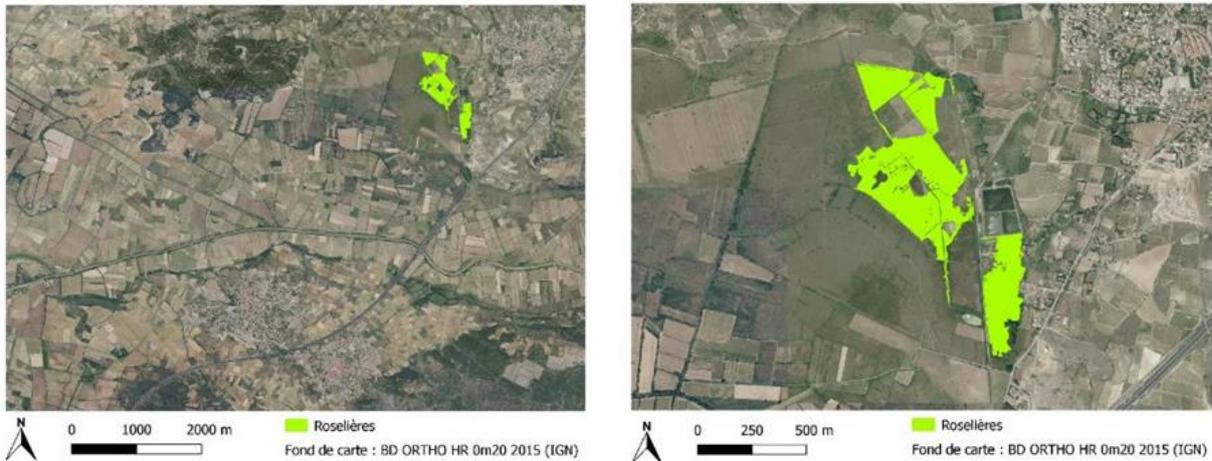


Illustration 23. Localisation de la roselière de l'Étang de la Matte.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière est caractérisée par une superficie d'environ 40 ha, elle est située 10 km à l'intérieur des terres, et ne semble pas être actuellement connectée à un milieu salé. L'eau de cet étang s'évacue vers l'étang de Vendres via le canal de la Matte. Le secteur présente de la salinité qui au vu du contexte (éloignement de la mer) ne semble pas en lien avec la mer actuelle ou le biseau salé. Cette salinité est à mettre en relation avec une ancienne eau marine stockée dans la nappe (lac Rubressus, - 2000 ans). À proximité de l'étang, un ancien port romain à Nissan, confirme ce contexte marin ancien.

La roselière est alimentée en eau par une STEP, des canaux d'irrigation (origine douce provenant de l'Aude amont) et les crues de l'Aude. L'Aude en amont du barrage anti-sel est douce. Le secteur est très agricole (essentiellement viticulture) et est soumis à la pratique de submersions des parcelles visant à repousser le sel contenu dans les sols et la nappe. Cette eau de submersion regagne finalement l'étang de la Matte (réceptacle du bassin versant), l'eau est ensuite exportée vers l'étang de Vendres via le canal de la Matte.

#### b) Réseau de mesures (voir localisation des ouvrages de suivi Illustration 24)

Piézomètre : oui.

Suivi hydro de la roselière : oui.

#### c) Première interprétation

La nappe est-elle influencée par une eau marine ancienne « stockée ». L'eau de la nappe échantillonnée à 50 cm grâce à un piézomètre appartenant au « Rézo du Rozo » évolue sur le secteur entre 0 et 7 mS/cm. L'eau du plan d'eau dans la roselière est beaucoup moins minéralisée, la conductivité électrique est comprise entre 0 et 2 mS/cm. La minéralisation observée provient visiblement d'un mélange entre les apports d'eau douce de la STEP et l'irrigation (également par les crues de l'Aude) et l'eau de la nappe plus minéralisée. Les salinités restent toutefois très limitées par rapport à la tolérance de la roselière.

Il est probable que l'étang soit en cours de comblement.

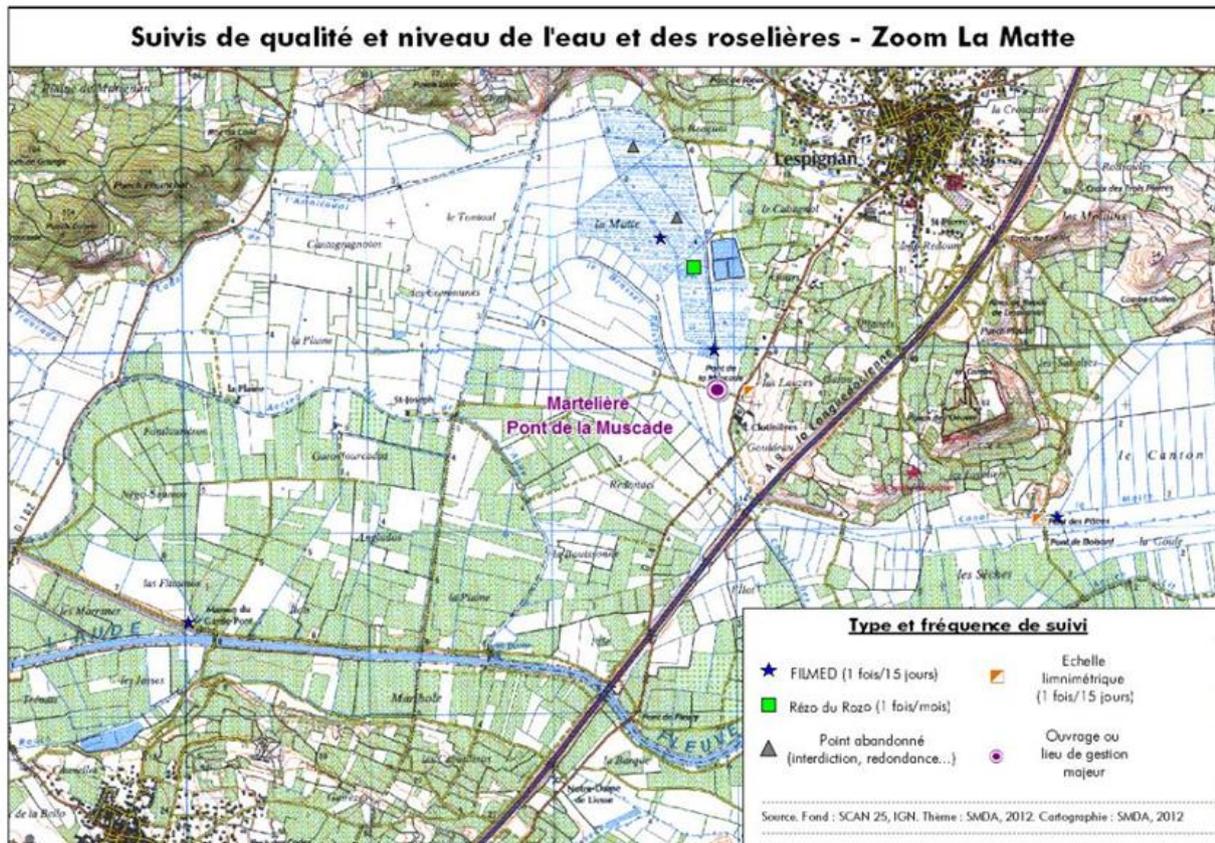


Illustration 24. Suivis en place sur la roselière de l'étang de la Matte.

### 3.1.8. Étang de Vendres (8)

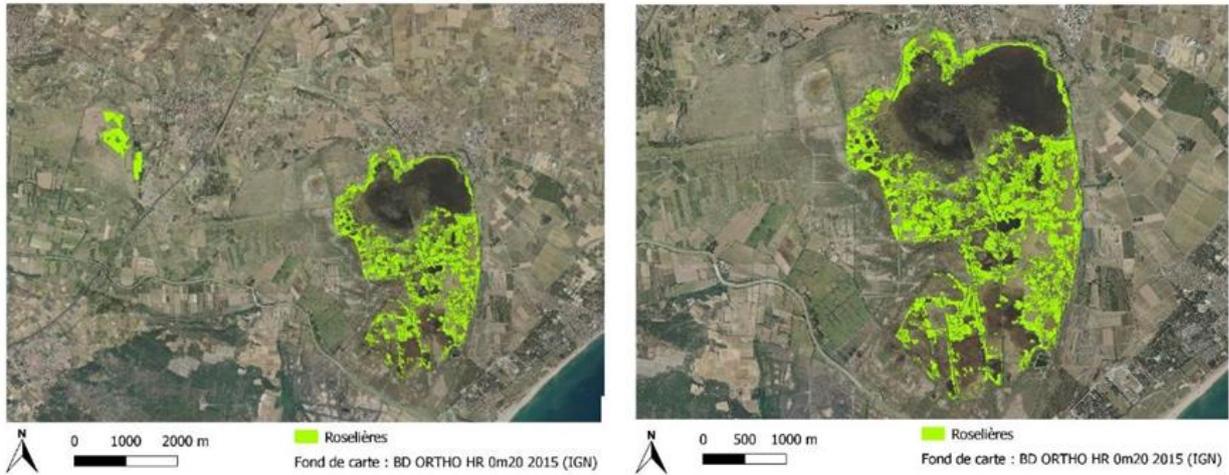


Illustration 25. Localisation de la roselière de l'Étang de Vendres.

#### a) Contexte roselière

La superficie de la roselière est d'environ 370 ha. Elle est localisée au sein de l'étang de Vendres en pleine zone deltaïque de l'Aude. Ce dernier présente donc des connexions fortes avec le milieu marin et donc de possible intrusions salines.

Une gestion du niveau d'eau dans l'étang, des entrées d'eau de mer et d'évacuation de l'eau de l'étang (notamment lors des périodes « post » crues de l'Aude) est assurée au niveau du grau (vanne du Chichoulet). La gestion des vannes est soumise au niveau d'eau de l'étang (cf. règlement d'eau).

Aussi, ce secteur est au droit du barrage anti-sel sur l'Aude (rive gauche, à 600 m). La partie aval de l'Aude est saumâtre (intrusion d'eau de mer dans le cours d'eau qui remonte jusqu'au barrage anti-sel). Il existe des transferts latéraux d'eau saumâtre vers la nappe.

La roselière est alimentée par de nombreux canaux d'irrigation (eau douce de l'Aude amont) et une STEP.

La roselière est en bon état dans la partie nord (amont), elle se dégrade dans la partie sud (plus à l'aval).

**b) Réseau de mesures (voir localisation sur la carte (Illustration 26))**

Piézomètre : oui 5.

Suivi de la roselière : mesures niveau / conductivité.

Niveau : entre 0,2 m et 0,4 m selon les secteurs (côté hivernale à 0,25-0,3 NGF).

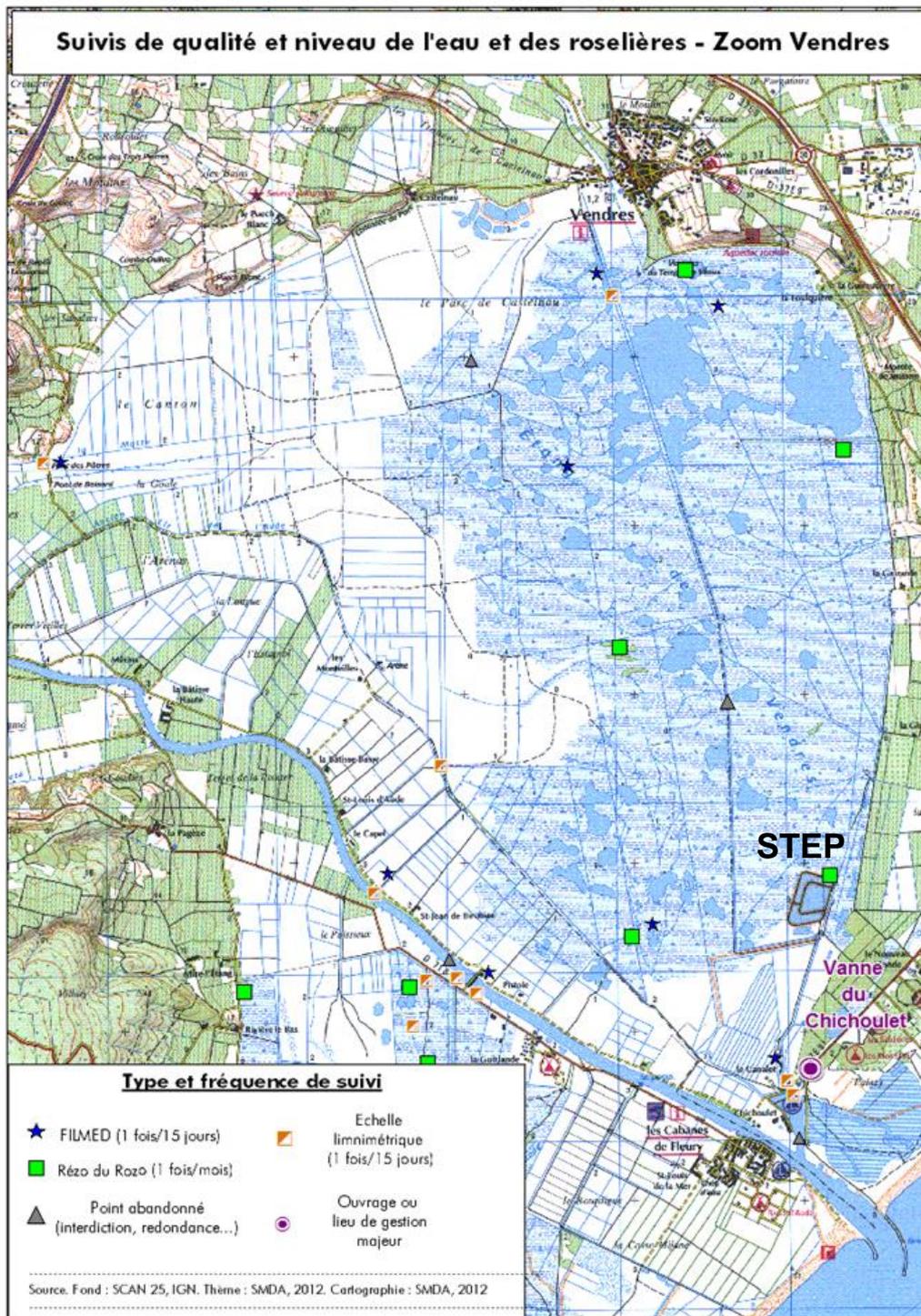


Illustration 26. Localisation des points de suivi sur la roselière de l'étang de Vendres.

### **c) Première interprétation**

Les quatre ouvrages suivis (piézomètres du « Rézo des Rozo » profonds de 50 cm) caractérisent l'eau de la nappe au niveau du système racinaire du phragmite à 50 cm de profondeur. Au niveau de ces ouvrages l'eau du plan d'eau fait également parti du suivi mis en place.

Les conductivités électriques mesurées montrent que l'eau de l'étang est aujourd'hui « saumâtre » avec des valeurs de conductivité électriques comprises entre 0 et 20 mS/cm. Il existe une variabilité au sein de l'étang. L'eau est notamment plus douce au niveau du secteur de la STEP (carré vert au sud-est à côté des bassins).

Les mesures réalisées sur la nappe présentent des salinités plus fortes, correspondant à des « eaux salines » pouvant atteindre 60 mS/cm. C'est au nord (piézomètre Vénus) que les minéralisations sont les plus fortes (comprises entre 50 à 60 mS/cm). Ces fortes minéralisations sont très probablement à mettre en relation avec la gestion ancienne de l'étang, en particulier l'apport d'eau salée au nord de l'étang via le canal de l'EID qui a été pratiqué jusqu'en 2003. Cet apport d'eau de mer devait permettre une augmentation de la minéralisation et ainsi tuer les larves de moustiques dans l'étang. Un nouveau règlement de gestion a fortement réduit ces apports d'eau salés. Il en résulte une diminution progressive de la salinité de l'étang, plus marquée sur les eaux de l'étang que sur la nappe qui est plus inertielle. En parallèle on observe une reconquête de l'étang par la roselière depuis une quinzaine d'années sur certains secteurs (confirmé par photographie aérienne, voir Illustration 27).



*Illustration 27. Photo aérienne de la roselière de l'étang de Vendres en août 2006 (en haut) et juillet 2018 (en bas).*

Historiquement (avant les années 1980 et la construction du canal de l'EID) la roselière était en bon état et recouvrait la totalité de l'étang. L'apport d'eau salé pour la démoustication a conduit pendant une vingtaine d'année au dépérissement de la roselière et probablement à la salinisation de la nappe sous-jacente. Depuis la mise en œuvre d'une nouvelle gestion de l'étang en 2003, associée à une forte diminution d'apport d'eau de mer via le canal de l'EID, la salinité de l'étang (plan d'eau + nappe sous-jacente) diminue progressivement. Cette diminution est plus marquée sur les eaux de l'étang que sur la nappe qui est plus inertielle. En parallèle on observe une reconquête sur certains secteurs de l'étang par la roselière au cours de ces dernières années.

#### ***d) Équipement préconisé***

Proposition d'équipement du piézomètre Tamaris appartenant au « Rézo du Rozo » avec une sonde CTD. En parallèle, une mesure du comblement de l'étang est pertinente. La mise en place d'une échelle limnimétrique positionnée à côté du piézomètre permettrait d'assurer un suivi annuel sur du long terme.

### 3.1.9. Gran Salan – Étang Grande Maire (9)

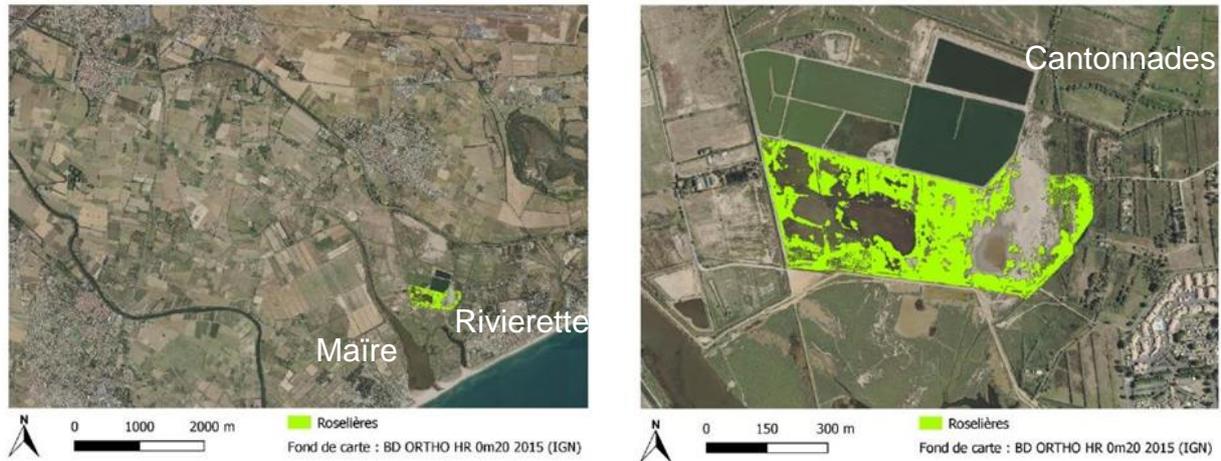


Illustration 28. Localisation de la roselière de « Gran Salan ».

#### a) Contexte roselière

La superficie de la roselière est de 22 ha, elle est située à moins de 2 km de la mer, au nord des lagunes saumâtres de Maïre et de la Rivierette. La roselière est complètement isolée grâce à un endiguement. Lorsque les niveaux sont hauts dans la roselière une surverse s'effectue au sud-est et alimente (via une roubine) le Nord de la Rivierette. La roselière est ainsi en position haute.

L'alimentation de la roselière s'effectue par les rejets de la STEP par lagunage de Portiragnes, avec des apports en eau douce conséquents (+ nutriments) en particulier à la fin de la période estivale. Le temps d'épuration dans les bassins de lagunage d'environ 3 mois conduit en effet à un délai d'alimentation. La roselière connaît généralement une période d'assec de mi-juillet à début septembre environ (en condition normale, à noter qu'en novembre 2020 le Grand Clair à l'Est est encore asséché), avant d'être à nouveau en eau.

Aussi, le secteur dit de la Cantonnades (au nord du lagunage) abrite un îlot de prairie humide d'une superficie d'environ 100 ha. Cette zone est irriguée soit par débordement du canal du Midi lors des crues automnales, soit par irrigation au printemps. La surverse de la zone de prairie s'effectue vers la zone de Clair à l'est de la roselière. La roselière est en assec estival à l'est. La partie ouest plus profonde ne bénéficie pas de l'assèchement.

Historiquement, avant la mise en place de la STEP, cette zone était recouverte de sansouïre et coupée dans sa partie médiane par une digue. La STEP mise en place au début des années 1980 a conduit à la mise en eau du site avec deux entités (ouest-est) distinctes.

Aussi, il existe des communications possibles au sud de l'entité est avec la Rivierette, en particulier lors des périodes de vent du sud qui conduisent à une augmentation des niveaux d'eau dans le plan d'eau des lagunes (niveaux les plus hauts au nord). Ces niveaux hauts se transmettent (transfert de pression) jusqu'à la roselière, entraînant des arrivées d'eau saumâtres plus ou moins bien gérées par les ouvrages hydrauliques (barrage anti sel et martelière).

Les salinités mesurées en juin 2020 dans la roselière étaient de 1 à 2 g/l à l'ouest et d'environ 10 g/l à l'est, confirmant le fonctionnement différencié des deux entités. L'eau plus douce à l'ouest semble être associée à la persistance d'une lentille d'eau douce dans la roselière. Le compartiment est, plus haut, présente des assecs, pendant lesquels le sel présent sur site remonterait par capillarité (remobilisation du sel vers surface).

Le centre de l'étang sur l'entité ouest est profond (supérieur à 1,2 m), et ne permet pas l'expansion de la roselière vers le centre de la pièce d'eau.

Globalement la roselière présente un état moyen à l'ouest, elle se fragmente, recule vers les bordures et ne présente pas des densités de tiges ou ration de tiges vertes sèches révélateur d'un bon dynamisme. Le niveau de vulnérabilité de la roselière est plus marqué à l'est avec des transferts latéraux périphériques associés à une alternance de développement de la sansouïre et l'extension de la roselière (lutte entre développement de la roselière et la sansouïre).

L'OFB et le Pôle Relais Lagune Méditerranéenne ont étudié le fonctionnement des ouvrages hydrauliques des zones littorales dans le cadre du ROE (Référentiel des Obstacles à l'Écoulement). Ce travail n'a pas été réalisé exclusivement sur la Grande Maire mais sur les lagunes méditerranéennes (<https://pole-lagunes.org/referencement-des-ouvrages-hydrauliques-et-des-unites-hydrauliques-coherentes/>).

### **b) Réseau de mesures**

Pas de piézomètre.

Suivi hydro de la roselière : non.

### **c) Première interprétation**

Ce secteur est une ancienne zone de sansouïre, attestant de la présence d'un milieu saumâtre dont l'intrusion saline est probablement en lien avec la proximité des lagunes. La mise en place de la STEP au début des années 1980 a conduit à un apport d'eau douce conséquent (+ nutriments) transformant le secteur en une zone d'étang dans lequel la roselière que nous connaissons aujourd'hui se développe. La présence d'une ancienne digue nord-sud (état fortement dégradé en particulier au nord où elle est aujourd'hui inexistante) a conduit au développement de deux entités dans la roselière. À l'ouest le site plus profond est toujours en eau. Les profondeurs à l'est sont moindres, permettant un assec estival. Parallèlement, on constate que l'eau est douce à l'ouest, alors qu'elle est saumâtre à l'est. Il est ainsi probable que le maintien d'une lentille d'eau douce permet à l'entité ouest de contenir le sel plus en profondeur, ce qui n'est pas le cas à l'est. Ce secteur connaît probablement des remontées de sel par capillarité lors des périodes d'assec. Globalement la roselière est en bon état. L'entité ouest se développe bien, son expansion est plus limitée à l'est du fait probablement de la salinité plus forte. Le développement dans la partie centrale de l'étang de l'entité ouest est toutefois impossible du fait de l'importante profondeur (supérieure à 1 m).

### 3.1.10. Étang du Bagnas (10)



Illustration 29. Localisation de la roselière de l'étang du Bagnas.

#### a) Contexte roselière

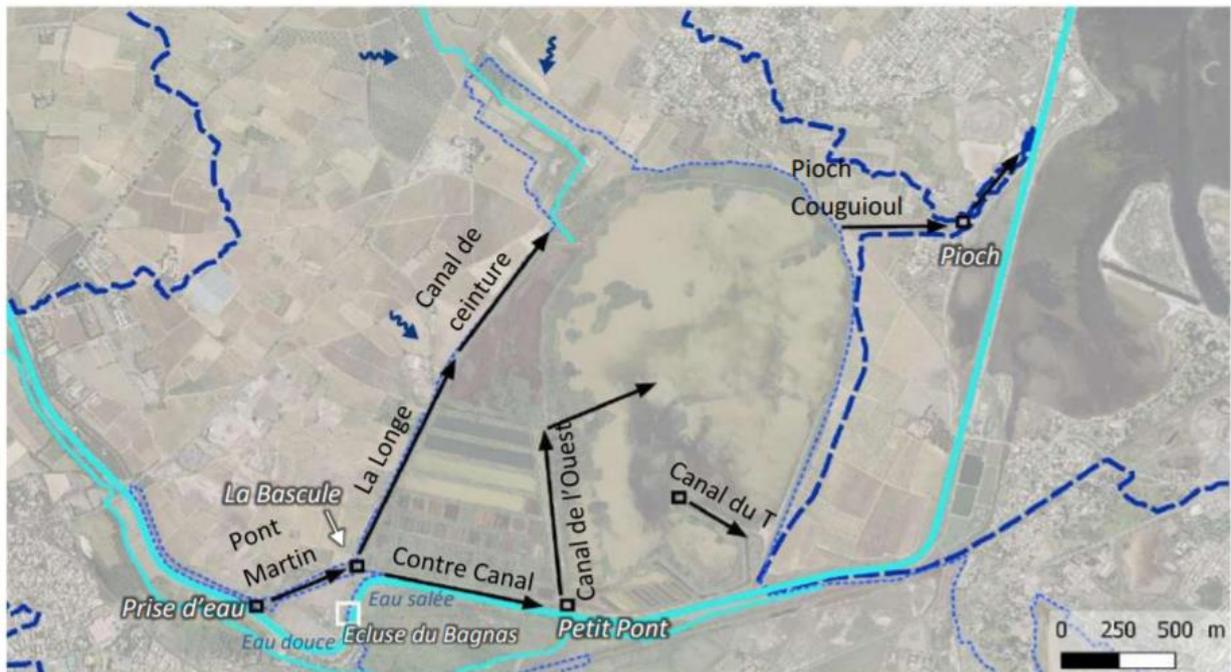
La superficie de la roselière est d'environ 58 ha, elle est située sur la partie nord de la Réserve Naturelle Nationale du Bagnas, en bordure de l'étang. Ce dernier est localisé à 3 km de la mer.

Par le passé, cet étang était connecté à la lagune de Thau (situé au nord-est) par un canal. Jusqu'en 1968 ce site était dédié à l'exploitation du sel. Ces salines fonctionnaient visiblement en important de l'eau salée de l'étang de Thau, évaporée dans des bassins à l'air libre, concentrant ainsi les minéraux jusqu'à leur dépôt sous forme solide. Le sel était ensuite stocké sur certains secteurs.

Aujourd'hui, la gestion du site est plutôt axée sur des apports d'eau douce en provenance du canal du Midi via le canal de Pont Martin. Les apports en eau par ce dernier sont évalués à environ 66 %, les apports naturels (pluie – ruissellement) représentent 34 % de l'alimentation.

Ces données sont disponibles grâce à l'étude hydraulique de 2018 (Agbanrin, 2018), réalisée en partenariat avec le Syndicat Mixte du Bassin de Thau. Cette dernière a apporté des informations cruciales pour la gestion hydraulique du site. Quarante-cinq ouvrages ont été recensés (dont 42 en partie nord) permettant, entre autres, de relever le fonctionnement hydraulique de la partie nord de la réserve (cf. Illustration 30). Seul un nombre limité de martelières permettent de gérer les niveaux d'eaux de l'étang du Bagnas sans possibilité d'effectuer une gestion différenciée des secteurs de l'étang. La « Demi-Lune », roselière située au nord à l'arrière de l'étang, est alimentée par surverse du canal de ceinture et par le ruisseau de Bragues. Le fonctionnement hydraulique des anciens bassins piscicoles, situés au sud-ouest de l'étang, n'est pas connu avec précision. Les ouvrages hydrauliques existants ne permettent pas un contrôle des apports en eau dans ces bassins qui sont alimentés en partie par le ruissellement du bassin versant, les remontées de la nappe phréatique et les précipitations.

Le Rieu était historiquement un grau, c'est-à-dire un bras d'eau permettant de relier le Bagnas à la mer. Le grau du Rieu a successivement été fermé à la fin du 19<sup>e</sup> siècle puis réouvert entre 1930 et 1945 au moment de la construction de la voie ferrée et de l'aménagement de la route de Sète. Ces constructions ont contraint à faire passer les eaux du grau sous la voie ferrée et sous la route de Sète. Le grau du Rieu est encore ouvert aujourd'hui (sauf l'embouchure avec la mer).



### Légende

	Zone humide du Bagnas		Martelières
	Bassin versant du Bagnas		Canaux
	Canal du Midi		Ruissellement
	Rieu Mort		
	Ruisseau de bragues		

Illustration 30. Fonctionnement hydraulique de la partie Nord (Réalisation : ADENA, 2018)

Les niveaux d'eau sur le site sont définis à partir de l'échelle de référence dite du « T ».

Actuellement, l'objectif est de satisfaire la nidification des hérons paludicoles, les haltes migratoires (limicoles) et l'hivernage de l'avifaune (anatidés) sur l'étang du Bagnas. Ainsi, de septembre à février, le gestionnaire laisse le niveau d'eau remonter au gré des conditions météorologiques sans dépasser le seuil de 85 cm (niveau de débordement). Au printemps et jusqu'à mi-juillet, le gestionnaire laisse le niveau baisser au gré des conditions météorologiques. Enfin, de mi-juillet à mi-août, le gestionnaire abaisse progressivement le niveau jusqu'au seuil minimal de 40 cm.

L'étang est normalement mis en assec tous les 5 ans. Le dernier assec a eu lieu en 2016. Concernant les données de conductivité, depuis 2012, la tendance observée est une baisse de la salinité de l'étang du Bagnas (illustration 31). On observe toutefois une hausse de la salinité en 2016, sûrement due à l'assec réalisé cette année-là. La salinité actuelle moyenne de l'eau de surface est de 5 g/l avec des valeurs plus faibles en hiver (environ 4 g/l) lorsque les niveaux d'eau de l'étang sont hauts (pouvant atteindre 1 m) et plus élevées en été lorsque les niveaux d'eau sont faibles (pics estivaux d'environ 15 g/l soit 25 mS/cm en juillet, 30 g/l soit 47 mS/cm en août et 40 g/l soit 60 mS/cm en période d'assec).

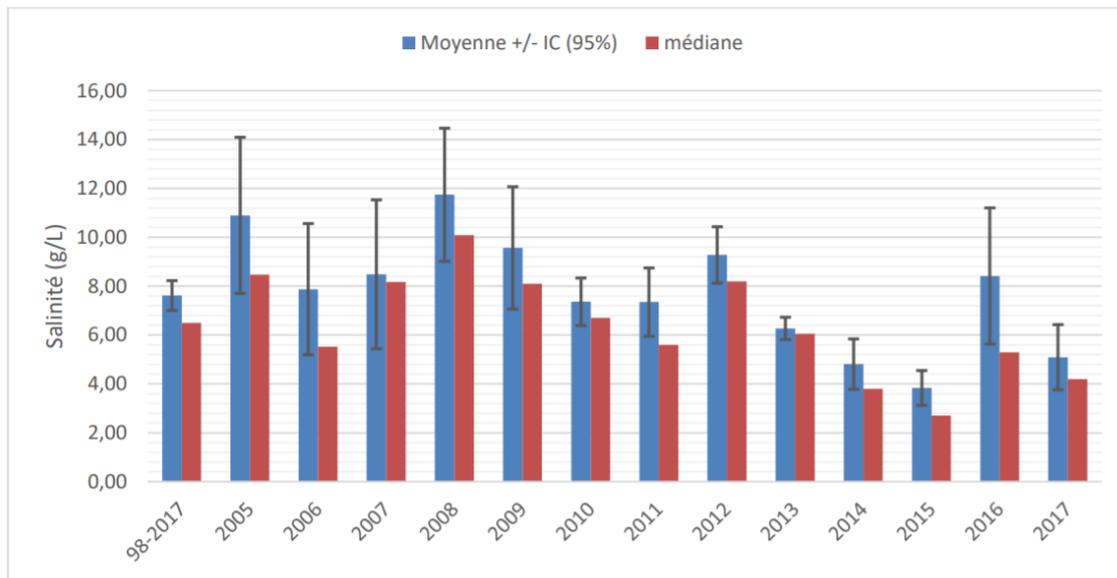


Illustration 31. Salinité moyenne au Grand Bagnas (source : Agbanrin, 2018).

La Réserve Naturelle Nationale du Bagnas bénéficie d'une importante diversité de patches de roselière. En 2020, près d'un tiers de la surface totale en Phragmitaie sur la RNN du Bagnas est évalué de faiblement vulnérable contre moins d'un cinquième jugé fortement vulnérable. Une majorité des roselières sur le Bagnas ne sont pas fragmentées, elles possèdent un nombre marqué de tiges fleuries, des roseaux de grands diamètres et de hauteur importante. En 2014, un précédent diagnostic de l'état de conservation de la roselière en faveur de l'avifaune paludicole faisait état d'un important cumul de litière sur plusieurs patches de roselière. Aujourd'hui, le niveau de litière est faible, l'assec de 2016 a probablement favorisé la minéralisation de la matière organique et la stabilité de la formation végétale. Les roselières localisées sur le secteur « GB8 », à l'ouest du Grand étang, présente une forte vulnérabilité liée à une importante salinité de l'eau (Illustration 32).

#### **b) Réseau de mesures (Illustration 32)**

Piézomètre : oui (voir localisation Illustration 32).  
 Suivi de la roselière : mesures niveau / conductivité.  
 Hiver : 1 m d'eau maxi, conductivité : 5 à 10 mS/cm.  
 Juillet : conductivité : 20 mS/cm.  
 Août : conductivité : 38 mS/cm.  
 Assec : 50 mS/cm.



Illustration 32. Localisation des ouvrages suivis hydrologiques sur l'étang du Bagnas (en blanc = suivi bimensuel FILMED ; en bleu = suivi de 2014) (Diraison, 2014).

### c) Première interprétation

Ce secteur est une ancienne saline avec des sites dédiés à l'entreposage du sel. La nappe sous-jacente est probablement saumâtre suite à cette exploitation. Les apports d'eau douce naturels ou par les canaux jouent un rôle de dilution des eaux salées. Par contre lors de l'assèchement de la roselière la minéralisation augmente par concentration.

### 3.1.11. Salines du Castellas (11)



Illustration 33. Localisation des roselières situées sur les salines du Castellas.

#### a) Contexte roselière

Ce site est une petite roselière de 4 ha située sur le lido de Thau. Elle se développe sur les bordures des principaux plans d'eau et canaux, caractérisées par de faibles profondeurs de la colonne d'eau (variations de 0 à 70 cm). Elle est alimentée par la STEP du Pradel (commune de Marseillan), garantissant un apport important d'eau et de nutriments, en particulier en période estivale, du fait de l'afflux touristique. La particularité de cette STEP provient du rejet d'eau saumâtre (salinité de l'eau d'environ 2 à 4 g/l), lié aux arrivées d'eau saumâtre dans la STEP. On constate en effet, une intrusion d'eau salée (source : étang de Thau et/ou biseau salé marin) directement dans le réseau de canalisation urbain, qui transfère ces eaux jusqu'à la STEP.

Par la suite les eaux de rejets de STEP sont envoyées dans le bassin de stockage (voir localisation Illustration 33) via le canal bordé de roselières. Ce bassin ainsi que le canal ne sont pas étanches. Ils sont en lien hydrogéologique avec la nappe saumâtre sous-jacente. Dans le canal et le bassin, l'eau est saumâtre, comprise entre 3-4 g/l en hiver et pouvant atteindre 12 à 15 g/l en été (évaporation et concentration). La gestion hydraulique du site et de l'ensemble du lido consiste ainsi à maintenir un niveau d'eau suffisant pour limiter les échanges / l'intrusion saline avec la nappe sous-jacente.

Les eaux de la STEP font preuve d'une importante gestion, afin de garantir un niveau d'eau minimum dans la roselière pour permettre l'accueil des oiseaux nicheurs (passereaux paludicoles, et les anatidés). Un assec estival pourrait toutefois être pratiqué.

À ce jour un plan de gestion du Lido de l'étang de Thau, est mis en place avec un règlement d'eau. L'objectif étant de garantir un flux d'eau issus des rejets de la STEP, pour assurer le bon état écologique de la roselière.

**b) Réseau de mesures**

Pas de réseau de suivi, mesures ponctuelles de la salinité dans les plans d'eau des roselières.

**c) Première interprétation**

Cette roselière est alimentée par un important flux d'eau saumâtre issu des rejets de la STEP. L'eau est légèrement saumâtre en hiver, la salinité augmente en été probablement par effet de concentration suite à l'évaporation sur le plan d'eau. La roselière semble plutôt en bon état (diamètre important des roseaux, bonne colonisation), bien que son diagnostic n'ait pas encore été réalisé.

### 3.1.12. Prés du Baugé – Étang de Thau (12)

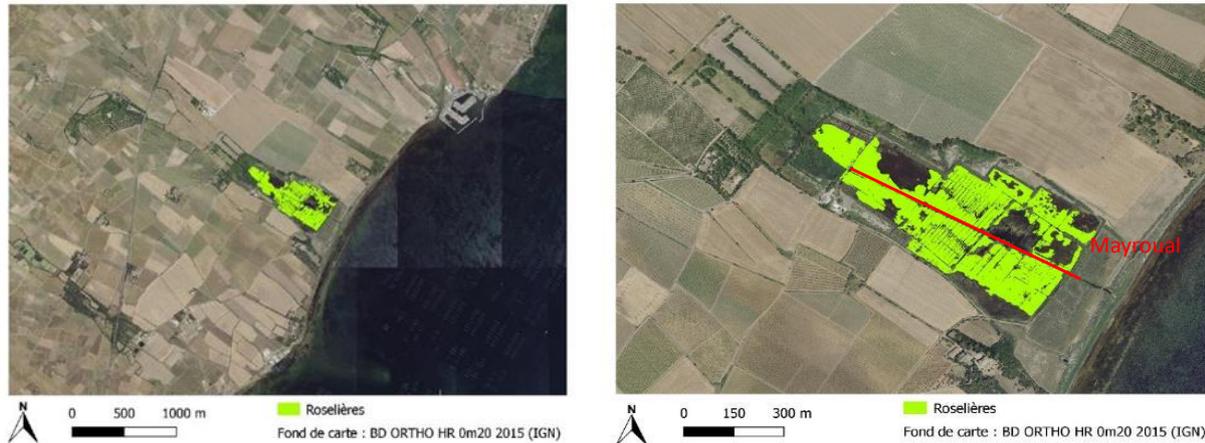


Illustration 34. Localisation de la roselière du Prés du Baugé.

#### a) Contexte roselière

La superficie de cette roselière est d'environ 15 ha, elle est située en bordure de l'étang de Thau, au sud-ouest. Il s'agissait jusqu'au début du XX<sup>e</sup> siècle d'un salin, transformé ensuite en zone agricole drainée, avant de devenir la roselière connue actuellement. Cette roselière est partiellement isolée de l'étang de Thau par une bande de terre de 300 m constituée de Pré salé et salicorne. Pour l'ancienne gestion du salin, une digue fut construite dans sa partie aval. Cette dernière comprend deux seuils permettant une surverse. La roselière se situe ainsi en position haute.

Elle est alimentée en eau douce par le cours d'eau temporaire du Mayroual qui est caractérisé par des débits conséquents en hiver et un assec estival. Une gestion hydraulique du site est réalisée avec une mise en charge hivernale et printanière. Le débordement se fait via les seuils de surverse au niveau de la martelière (exutoire du site).

Aussi, un réseau d'irrigation/drainage a été mis en place autour du cours d'eau. Sur les secteurs proches des canaux d'irrigation la roselière est en bon état. Elle se dégrade à mesure que l'on s'éloigne du cours d'eau, sur des secteurs bénéficiant de moins d'eau ; la roselière souffre alors d'assec précoces.

La partie la plus à l'aval du site est caractérisée par des niveaux bas (proche/sous 0 m NGF). Elle subit probablement en période estivale, lorsque les niveaux d'eau dans la roselière sont les plus bas, une intrusion saline provenant de l'étang de Thau. Lors des tempêtes hivernales, les niveaux de l'étang augmentent, pouvant approcher + 80cm NGF, entraînant une intrusion saline dans cette zone aval de la roselière. Il existe probablement un gradient de salinité nord-sud.

Ainsi, à l'exutoire du site (à l'aval de la roselière), un capteur de pression et une sonde de conductivité ont été mis en place en 2019. Les niveaux d'eau et la conductivité sont ainsi suivis à un pas de temps fin. La conductivité dans la roselière évolue entre 3 et 7 mS/cm en hiver et jusqu'à 70 mS/cm en été. Les niveaux évoluent entre -5 cm en été et + 70 cm en hautes eaux. Cette cote maximale correspondant au niveau de la surverse.

La roselière est en bon état dans sa partie amont, elle est dégradée dans sa partie aval, au plus proche de l'étang de Thau sur les niveaux les plus bas. Ce secteur correspond par ailleurs à des zones de prairies et marais pâturés.

### **b) Réseau de mesures**

Pas de piézomètre.

Suivi de la roselière : pas directement dans la roselière, mais à l'aval du site.

### **c) Première interprétation**

Il s'agit d'un ancien salin, la nappe et les sédiments sous-jacents se sont probablement chargés en sel durant l'exploitation. Un important stock de sel persiste probablement dans la nappe et les sédiments.

Par la suite l'activité agricole et le fonctionnement en zone naturelle, associés à l'irrigation par le Mayroual ont permis la constitution d'une lentille d'eau douce, sur laquelle la végétation peut s'établir. La gestion hydraulique de ce site consiste ainsi à maintenir le plus longtemps possible des niveaux hauts dans la roselière pour conserver une lentille d'eau douce, au moins une partie de l'année, ce qui permet à la roselière de se développer.

Toutefois, un assec estival a lieu en lien avec l'assèchement estival du cours d'eau, l'évaporation sur le plan d'eau et l'infiltration en continu vers la nappe.

Sur les parties, moins bien irriguées (plus éloignées du cours d'eau), l'hydropériode est plus courte, la roselière souffre alors d'assec précoces et peut-être également d'une remontée de sel par capillarité.

### **d) Équipement envisagé**

Un piézomètre à 1 m de profondeur a été implanté le 30 novembre 2020 dans la partie aval de la roselière (voir localisation ci-dessous). Il sera équipé en 2021 d'une sonde CTD autonome. Un suivi ponctuel manuel (environ 1 fois par mois) des niveaux d'eau et de la conductivité dans la roselière au niveau du piézomètre est également recommandé. Le jour de la mise en place, la roselière était hors eau. Le niveau d'eau a été recoupé entre 20 et 30 cm de profondeur et correspond au niveau observé dans le canal situé à 2 mètres du piézomètre. La minéralisation dans la nappe peu profonde est significative de l'ordre de 11 mS/cm.

Le suivi de l'atterrissement sur le site est recommandé sur du moyen – long terme.



Illustration 35. Mise en place du piézomètre et localisation (30 novembre 2020).

### 3.1.13. Grande Palude – Etang de Vic (13)

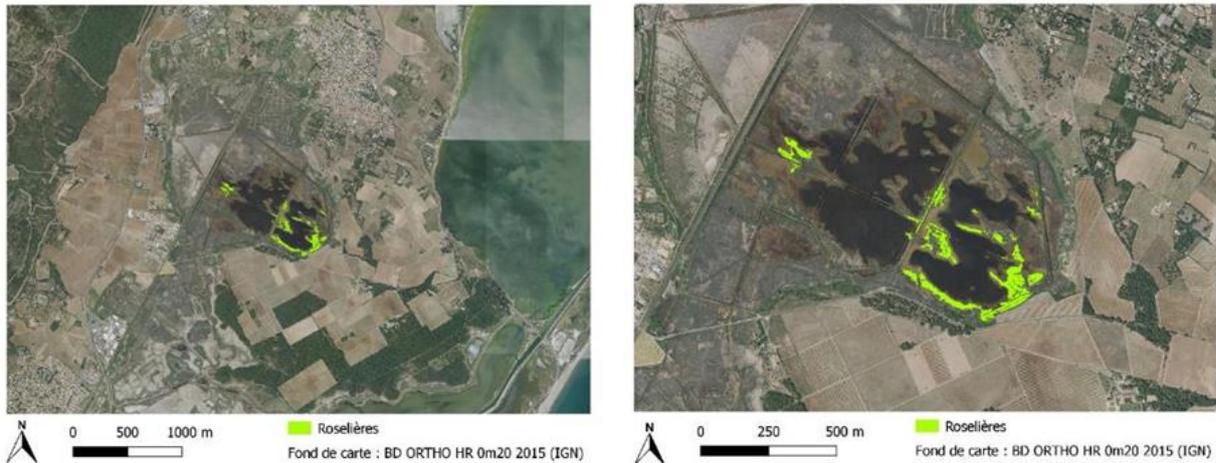


Illustration 36. Localisation de la roselière de la Grande Palude.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'environ 3,8 ha (sans compter la surface des linéaires) est située au sud-ouest de la lagune côtière salée de Vic. Cette dernière présente peu d'informations et n'est pas prioritaire dans le suivi engagé. Il s'agit d'une zone humide isolée, actuellement déconnectée de l'étang de Vic.

Ce site est un ancien salin avec la présence d'un réseau endigué. Il est alimenté par les arrivées d'eaux pluviales, via des réseaux de canaux, et par la recharge naturelle. Il existe également de petits exutoires karstiques de faibles débits.

L'eau dans la roselière est caractérisée par une eau saumâtre. L'hydropériode est courte, le site présente généralement un assec dès le mois de mai-juin.

La mise en place récente d'un piézomètre a permis de suivre la saturation de la nappe lors d'un épisode cévenol (10 septembre 2020), et a révélé la saturation lente de la nappe.

#### b) Réseau de mesures

Piézomètre : oui, mise en place en 2020.

Suivi de la roselière : mesures niveau / conductivité.

#### c) Première interprétation

Cette roselière ne présente actuellement pas un bon état, les roseaux sont en effet bas et fins. Le milieu probablement salé (lié au passé d'exploitation d'un salin sur la zone) avec un assec long n'est pas favorable au bon développement de la roselière. Ce site est marqué par un manque d'eau douce, qui ne permet pas de maintenir, comme cela est observé sur d'autres sites, une lentille d'eau douce qui permettrait à la roselière de se développer malgré la présence sous-jacente de sel.

### 3.1.14. Salines de Villeneuve – Vagaran Boulas (Étang de Vic) (14)



Illustration 37. Localisation de la roselière des salines de Villeneuve.

#### a) Contexte roselière

Ce site d'une superficie de 17 ha est localisé en bordure nord des salines de Villeneuve, elles même connectées à la lagune salée de Vic (zone médiane de l'étang). Les salines de Villeneuve ne sont plus actives depuis les années 1970.

La roselière est alimentée par le cours d'eau pérenne de la Madeleine alimenté par la source karstique du même nom. L'alimentation se fait via deux ouvrages hydrauliques sur le cours d'eau en lien avec la manipulation d'un seuil amovible dans le cours d'eau. Les apports sont conséquents. Les niveaux d'eau dans la roselière atteignent 65 – 70 cm NGF dans la roselière, avec une hauteur de colonne d'eau qui varie de 40 à 70 cm. Une gestion hydraulique est mise en œuvre sur le site, avec la présence d'un assec estival au moins tous les 3 ans sur une grande partie. Les secteurs les plus bas ne sont pas asséchés (présence notamment d'une cuvette qui reste toujours en eau). La salinité est suivie, l'eau dans le plan d'eau est légèrement saumâtre : 2 à 4 g/l au printemps atteignant 10 à 12 g/l avant l'assec. Ces valeurs fortes sont associées à une concentration du sel par évaporation.

La nappe sous-jacente est probablement fortement salée, en lien avec l'ancienne exploitation des salins et la présence immédiate de l'étang de Vic. Il n'y a malheureusement pas à ce jour de piézomètre sur le secteur permettant de confirmer ce point. Un équipement prochain est toutefois envisagé par les gestionnaires du site.

La roselière présente globalement un bon état et une tendance à l'expansion en particulier sur la partie nord.

Notons que le site présente deux entités distinctes nord et sud, séparées par une digue. L'entité nord est propice au développement de la roselière alors que le compartiment sud le permet uniquement sur les bordures. Le cœur du compartiment sud est, d'après les gestionnaires, probablement chargé en sel, s'agissant de l'ancienne zone de stockage du sel des salines. Ce secteur est également en connexion directe avec la lagune de Vic.

Une digue est présente à l'aval du site, l'évacuation des eaux de trop plein de la roselière se fait via une martelière. Cette dernière joue également le rôle de barrage anti-sel, empêchant lors des tempêtes hivernales (engendrant des niveaux hauts dans la lagune de Vic) les remontées d'eau salée de la lagune.

Un barrage anti-sel a également été mis en place à l'exutoire du ruisseau de la Madeleine en bordure de la lagune de Vic.

### ***b) Réseau de mesures***

Pas de piézomètre.

Suivi de la roselière : mesures de niveaux et de salinité.

### ***c) Première interprétation***

Il existe un problème de salinisation certainement en lien avec l'ancienne activité salinière, en particulier sur l'entité sud (ancien bassin de stockage du sel). La proximité de la lagune de Vic laisse également présager des échanges souterrains, avec une possible intrusion saline dans cette roselière caractérisée par de bas niveaux NGF. L'apport conséquent d'eau douce en provenance de la source karstique de la Madeleine et la bonne gestion hydraulique du site assurent un bon état de la roselière ainsi que son développement. La roselière semble ainsi se développer sur une lentille d'eau douce à saumâtre qui permet de maintenir les eaux salées plus en profondeur.

### 3.1.15. Réserve Naturelle Nationale Estagnol (15)

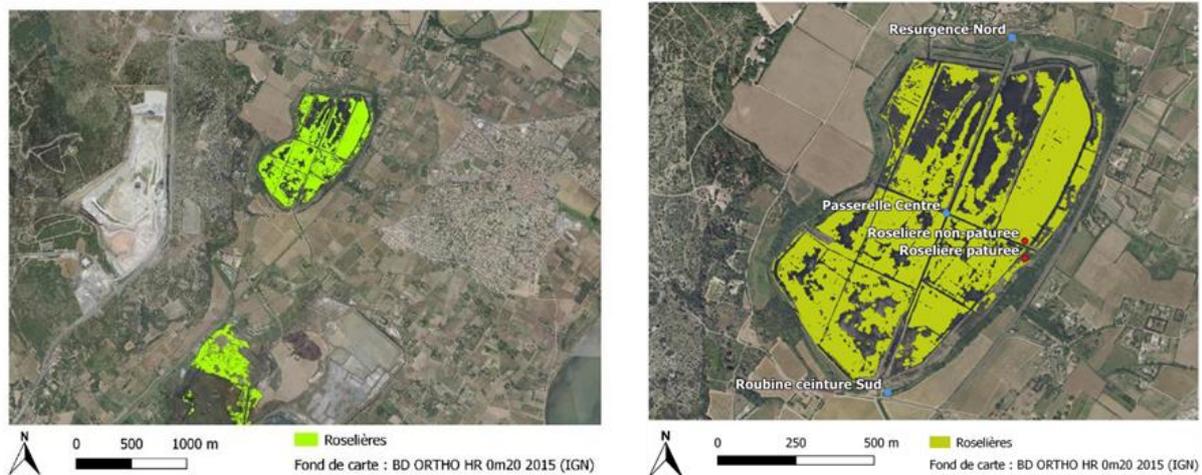


Illustration 38. Localisation de la roselière de l'Estagnol.

#### a) Contexte roselière

La roselière se développe au sein de l'étang de l'Estagnol qui présente une superficie d'environ 39 ha. Ce dernier est situé à environ 3 km au nord-ouest de l'étang côtier salé de Vic, à la cote - 0,25 m NGF.

Cet étang est une ancienne saline qui fût exploitée du XII<sup>e</sup> siècle jusque potentiellement au XVIII<sup>e</sup> siècle. Il en résulte un stock de sel important sur le secteur (présence de Prés salés méditerranéens et Salicorniaies). Cet étang relié à la lagune de Vic fonctionnait grâce à un apport d'eau salé via le canal de la Bouffie. Aujourd'hui les apports d'eau de la lagune de Vic sont très limités. Toutefois en période de tempête exceptionnelle (occurrence décennale) associée à une augmentation forte des niveaux dans la lagune, de l'eau salée de la lagune peut remonter jusque dans l'étang l'Estagnol probablement via le canal.

Lors des fortes crues (observée une fois lors de l'hiver 2003-2004) la zone a été submergée avec un niveau d'eau à +1,5 m NGF. Le plan d'eau est alors connecté à la lagune de Vic, engendrant des échanges potentiels entre les deux étangs.

L'étang est alimenté par des sources (une source karstique au nord et potentiellement d'autres petits exutoires issus de la nappe superficielle), les précipitations et le ruissellement sur le bassin versant. Il n'y a pas de gestion des apports d'eau douce réalisée sur ce site. Les apports des sources ne permettent généralement pas à l'étang de rester en eau en période estivale. L'assec (-0,45 m NGF) dure généralement entre 2 et 4 mois.

L'eau de la source est légèrement saumâtre (conductivité de 1,5 à 2,5 mS/cm), elle correspond à une zone humide. Les suivis réalisés depuis 20 ans révèlent une tendance à l'augmentation de la salinité avec + 0,5 g/l en 20 ans. Cette augmentation peut être due à une remontée du biseau salé en lien avec le changement climatique et/ou une augmentation des prélèvements sur le secteur.

Le canal au centre de la roselière (relié à la résurgence) est plus saumâtre avec des conductivités relevées entre 3 et 11 mS/cm. Il faut noter qu'à 0,25 m NGF de hauteur d'eau, la réserve est inondée sur 78 % de sa surface, les masses d'eaux des canaux et des secteurs sont reliés.

La roselière présente des secteurs pâturés et d'autres non pâturés. Ils sont suivis par deux piézomètres profonds de 50 cm. Les conductivités mesurées dans la nappe superficielle sont comparables avec des valeurs comprises entre 10 mS/cm en hautes eaux et 23 mS/cm en basses eaux. Les mesures réalisées à proximité des piézomètres sur le plan d'eau sont comprises entre 3 mS/cm (hautes eaux) et 11 mS/cm (basses eaux). Les variations de salinités entre les secteurs pâturés ou non s'inversent suivant les années. Les données entre ces différents secteurs sont ainsi difficilement interprétables.

Les variations saisonnières observées sont liées aux phénomènes de dilution-concentration.

La roselière présente un très bon état de conservation.

### ***b) Réseau de mesures***

Piezomètres : oui, localisés sur la carte.

Suivi de la roselière : oui suivi manuel bi-mensuel.

### ***c) Première interprétation***

L'étang bien qu'éloigné de la mer et de la lagune de Vic présente une altitude très faible, sous le niveau de la mer. Aussi, la nappe superficielle présente une minéralisation significative (conductivité électrique de 10 à 23 mS/cm). Cette dernière est en lien avec un important stock de sel résiduel issu de l'ancienne activité de saline. La salinité actuelle issue de l'intrusion saline provenant de la lagune de Vic est probablement limitée. Son impact est probablement faible par rapport à celui lié au stock de sel sur le secteur.

L'étang situé en position basse constitue un réceptacle pour les eaux. Dans ce cadre, les transferts d'eau salée de la nappe vers l'extérieur du site sont limités. Le sel ancien stocké dans la nappe n'arrive pas à s'évacuer.

Une des conséquences du changement climatique, associée à une augmentation du niveau de la mer, sera la mise en connexion permanente de l'étang avec la mer, qui deviendrait alors une lagune. Une partie de ce milieu de roselière connu actuellement est ainsi voué à disparaître.

### 3.1.16. Site du Méjean (16)

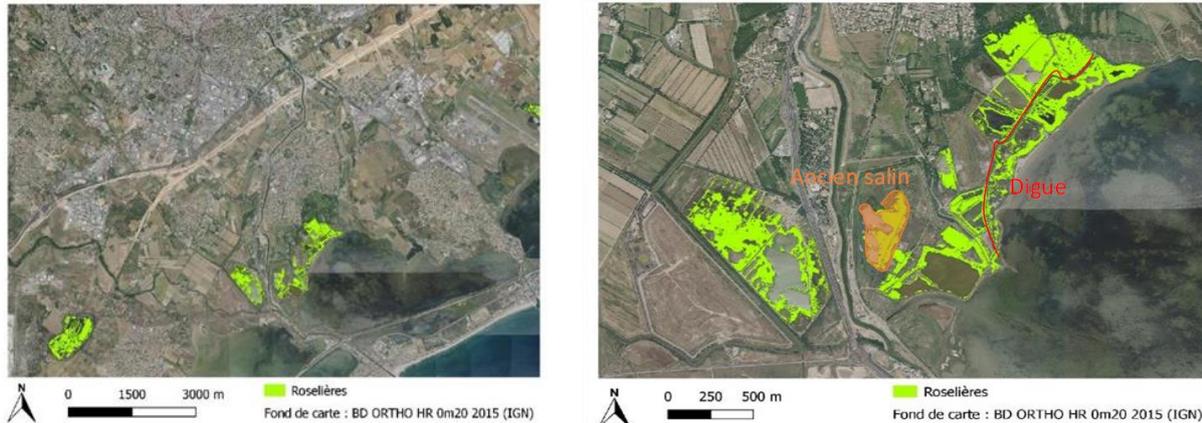


Illustration 39. Localisation de la roselière du Méjean.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 37 ha, est située en bordure de l'étang côtier salin du Méjean, au nord-ouest. Elle est constituée d'un ensemble de roselière. Le site du Méjean se divise en 14 unités hydrauliques indépendantes.

En été la salinité de l'étang du Méjean est comparable à celle de la mer. En hiver suite aux précipitations sur le bassin-versant, la dilution est forte, la salinité descend en dessous de 10 g/l. La colonne d'eau dans l'étang évolue au cours de l'année entre 50 et 80 cm.

Les roselières sont alimentées en eau douce via plusieurs canaux d'irrigation issus du fleuve Lez. La mise en eau est contrôlée par la manipulation de plusieurs ouvrages hydrauliques. Les roselières se développent sur plusieurs secteurs. On distingue ainsi deux entités séparées par une digue. À l'est de la digue, la roselière est en connexion directe avec l'étang. À l'ouest, elle est protégée des submersions marines qui ont lieu lors des périodes de vent marin et de tempête.

Le secteur Est est caractérisé par une mosaïque de milieu : sansouïre, pré salé, roselière. Il existait jusqu'en 2018-2019 un bourrelet d'argile qui s'était développé sur en bordure d'étang, sur la zone de battement de la houle. Suite aux fortes tempêtes de ces dernières années (2016-2020), le cordon s'est fortement détérioré entraînant des intrusions d'eau salées de l'étang lors des tempêtes. Cette eau se retrouve ensuite stockée dans des cuvettes derrière les vestiges du cordon argileux, laissant des mares semi-temporaires d'eau salée/saumâtre.

La roselière du secteur Est est aujourd'hui fragmentée et son état présente une tendance à la dégradation. À l'ouest, la roselière est plus dense et semble être en meilleur état.

Au nord-ouest, il y a également une roselière dense de 17 ha, communément appelée « roselière de la réserve ». Le niveau et la salinité dans le plan d'eau et la nappe sous-jacente y sont mesurés depuis 2016. La salinité de la robine qui l'alimente est également suivie. L'eau de la robine est douce à légèrement saumâtre. Dans le plan d'eau l'eau est douce à saumâtre. La salinité fluctue entre 0 et 11 g/l selon les saisons, avec en général une eau plus douce en période de hautes eaux.

Aujourd'hui cette roselière est en bon état, les apports d'eau douce semblent suffisants, bien que les objectifs de hauteur d'eau préconisés ne soient pas atteints par manque d'eau disponible.

Sur les roselières du bord d'étang, ces paramètres sont suivis depuis 2019. Sur les plans d'eau la salinité varie entre 0 et 25 g/l. Les fortes salinités sont consécutives à des périodes de tempête. Aussi, ce secteur est pâturé entre avril et octobre.

Il existe également une roselière plus à l'ouest qui se développe en bordure d'un plan d'eau douce alimenté par le Lez via une robine. Ce secteur correspond à une ancienne zone de salin. À ce jour il n'y a pas de suivi, toutefois les mesures ponctuelles réalisées sur le plan d'eau montrent que l'eau est relativement douce. La roselière est en bon état. Le plan d'eau est temporaire avec un assèchement estival. Une activité de pâturage y est en place entre juin et août.

Les niveaux d'eau préconisés dans la roselière aux différentes périodes de l'année sont repris au sein du plan de gestion. Ces derniers sont évalués au regard des besoins en eau de la faune et de la flore mais également des besoins liés aux activités humaines du territoire (activité de chasse et pâturage). Les marais du Méjean nécessitent des apports conséquents pour prévenir les intrusions salines en provenance de l'étang du Méjean.

Enfin, plusieurs espèces nuisibles sont présentes sur le site (ragondin, sanglier) malgré une régulation effectuée. Elles sont responsables d'une déstabilisation des berges, notamment des robinets, générant des fuites pour l'alimentation.

Enfin, d'après le gestionnaire, il n'y a à priori pas d'atterrissement observé sur le site.

En 2014, la commune de Lattes a engagé un contrat Natura 2000 « Restauration de la roselière du site naturel protégé du Méjean en faveur de l'avifaune paludicole », en lien avec les objectifs de gestion : conserver les roselières dans un état sanitaire satisfaisant, susceptible d'accueillir une avifaune diversifiée et d'entreprendre les travaux nécessaires à la restauration des zones les plus dégradées.

En amont de ces travaux, le CEN L-R a réalisé en 2014 un diagnostic de l'ensemble des roselières du site. Une seconde campagne de suivi après travaux a été réalisée au printemps 2016 et enfin une troisième quatre ans après travaux (en 2018).

On note une évolution positive de l'habitat roselière et une évolution positive des effectifs des oiseaux paludicoles nicheurs entre 2014 et 2018.

### ***b) Réseau de mesures***

Piézomètre : oui (niveau + conductivité).

Suivi de la roselière de la réserve et de bord d'étang : oui, mensuel (niveau + conductivité).

Suivi sur l'étang : oui, mensuel.

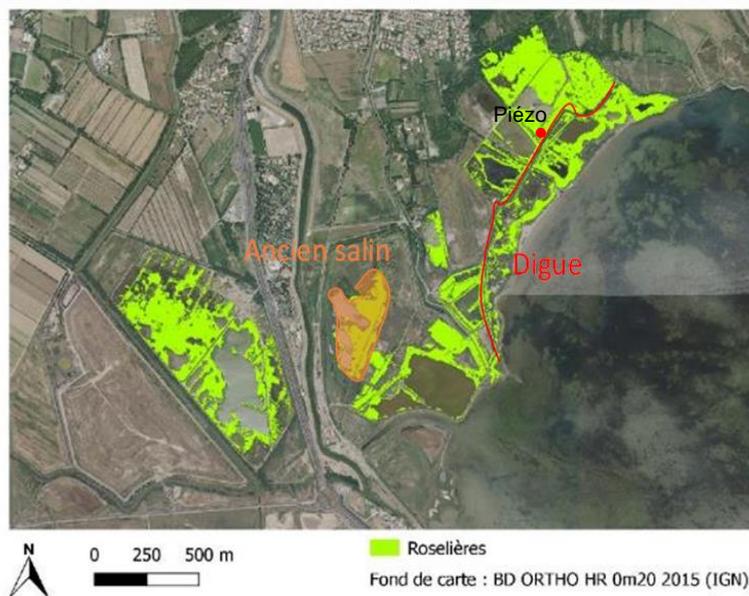
### ***c) Première interprétation***

Plusieurs roselières sont présentes sur le secteur. Pour les roselières situées en bordure d'étang, une dégradation est aujourd'hui observée. Elle est liée à une augmentation des périodes de tempêtes (fréquence et intensité) ayant conduit à la destruction du cordon argileux. Le milieu est désormais soumis à l'intrusion saline en particulier lors des périodes de tempêtes, il se salinise, la roselière se dégrade.

Les roselières situées sur les secteurs plus éloignés de l'étang (notamment derrière la digue) présentent un meilleur état car moins impactées par les intrusions salines. Un apport d'eau douce conséquent est réalisée grâce aux robinets, drainant l'eau du Lez pour irriguer ces milieux. Bien qu'en contexte lagunaire, l'eau dans les roselières est douce à saumâtre, probablement en lien avec l'apport d'eau douce qui permet le maintien d'une lentille d'eau douce en surface, salutaire au bon développement de la roselière.

#### **d) Équipement réalisé et préconisé**

Un piézomètre à 1 m de profondeur a été implanté le 30 novembre 2020 dans la roselière de la réserve (voir localisation ci-dessous). En effet, ce site présentait un manque d'information sur les caractéristiques de la nappe. Ce piézomètre permettra de connaître localement la conductivité électrique de la nappe superficielle.



*Illustration 40. Localisation du piézomètre dans la roselière de la réserve.*

Le gestionnaire du site prévoit de l'équiper dans les années à venir d'une sonde CTD autonome. Un suivi ponctuel manuel (environ une fois par mois) des niveaux d'eau et de la conductivité dans la roselière au niveau du piézomètre est également recommandé. Le jour de la mise en place, le niveau d'eau dans la roselière à proximité du piézomètre était compris entre 2 et 5 cm. La minéralisation dans la nappe peu profonde est significative de l'ordre de 11 mS/cm.

Le suivi de l'atterrissement sur le site à partir de la graduation du piézomètre est recommandé sur du moyen – long terme.



*Illustration 41. Mise en place du piézomètre dans la roselière de la Réserve (site du Méjean) le 30/11/2020. Mesure de la conductivité électrique dans le piézomètre et les canaux de surfaces (amont à gauche et aval à droite de la martelière).*

### 3.1.17. Saint-Marcel (17)

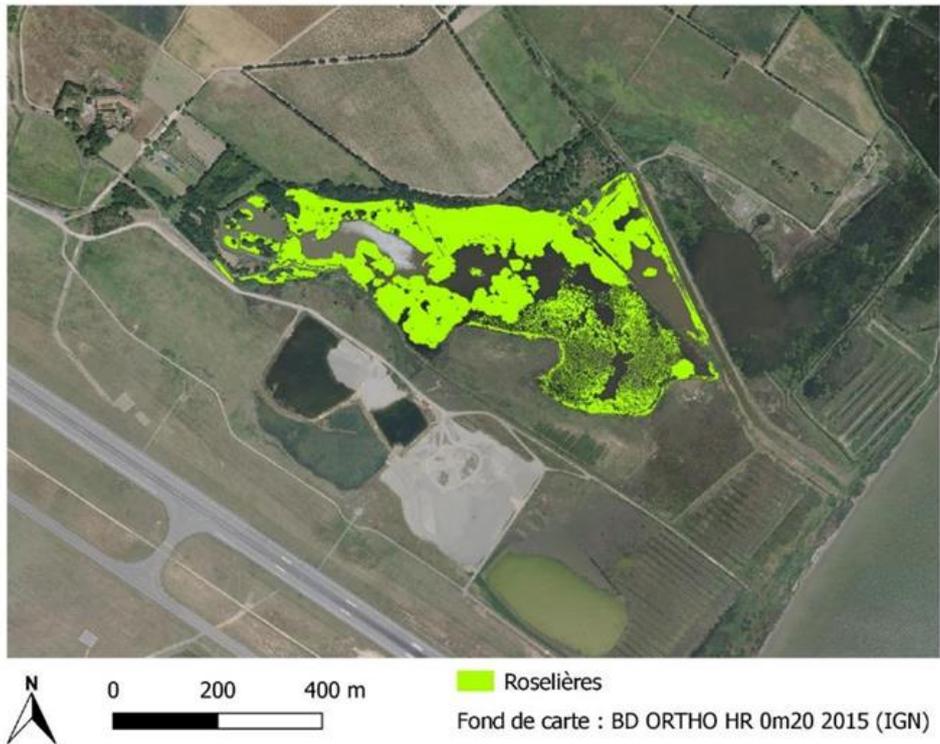


Illustration 42. Localisation de la roselière de Saint-Marcel.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 15,3 ha, se développe au sein de l'étang de Saint-Marcel. Ce dernier est situé à 300 m au nord-ouest de l'étang côtier de l'Or (lagune), et est ainsi partiellement déconnecté de ce dernier. La salinité de l'étang de l'Or est méso-halin (12 à 30 g/l).

L'étang de Saint-Marcel est alimenté en eau douce par un petit cours d'eau, la Jasse, qui se jette ensuite dans l'étang de l'Or. L'eau de la Jasse est douce à saumâtre. Il existe un barrage anti-sel, mais son efficacité n'est pas totale, de l'eau salée de l'étang remonte ainsi dans le cours d'eau. La Jasse est endiguée mais une brèche dans les digues permet à l'eau de se déverser directement dans la partie aval de la roselière (partie sud).

Il existe également un pompage dans la nappe qui alimente la roselière.

Cette roselière permet au gibier de se reposer (réserve de chasse). Il y a du pâturage (chevaux), impactant la roselière.

Il y existe deux piézomètres situés au nord de la roselière, les salinités mesurées dans la nappe sont faibles. Le plan d'eau présente également une faible salinité.

Il n'y a pas à proprement parlé de gestion hydraulique du site. Un assec estival à généralement lieu (période de basses eaux).

Le plan d'eau au milieu de la roselière a tendance à s'envaser mais il n'y a pas de mesure pour le quantifier.

Il existe des zones de claire (absence de végétation) au cœur du plan d'eau, maintenues grâce à l'activité de pâturage. Ces zones plus profondes ne permettent pas l'expansion de la roselière vers le centre du plan d'eau. La gestion du repos de ces oiseaux d'eau nécessite l'existence de ce plan d'eau, ainsi le gestionnaire en assure son maintien.

L'eau de l'étang est douce (1 g/l) et l'eau de la nappe est légèrement saumâtre (3 g/l). La roselière est dans l'ensemble en bon état. Le secteur à l'entrée présente toutefois quelques signes de vieillissement (formation de touradons).

Au niveau du potentiel d'accueil, le niveau d'eau est très faible. Le héron pourpré est cependant noté comme nicheur sur le site.

### ***b) Réseau de mesures***

Piézomètre : deux suivis mensuels, niveaux / salinité.  
Suivi de la roselière : oui au niveau des piézomètres.

### ***c) Première interprétation***

Compte tenu de l'éloignement avec l'étang de l'Or, l'étang de Saint-Marcel est faiblement impacté par les intrusions salines en provenance de la lagune. Un apport d'eau douce conséquent se fait via le ruisseau de la Jasse. Toutefois ce dernier se jette dans l'étang de l'Or et des remontées d'eau de l'étang y sont observées malgré la présence d'un barrage anti-sel (à priori peu efficace). Ce cours d'eau est ainsi caractérisé par de l'eau saumâtre une partie de l'année.

Les apports en eau conséquents et peu minéralisés permettent le développement en surface d'une lentille d'eau douce à saumâtre, qui garantit une faible minéralisation des eaux et un bon développement de la roselière.

### 3.1.18. Bentenac (18)

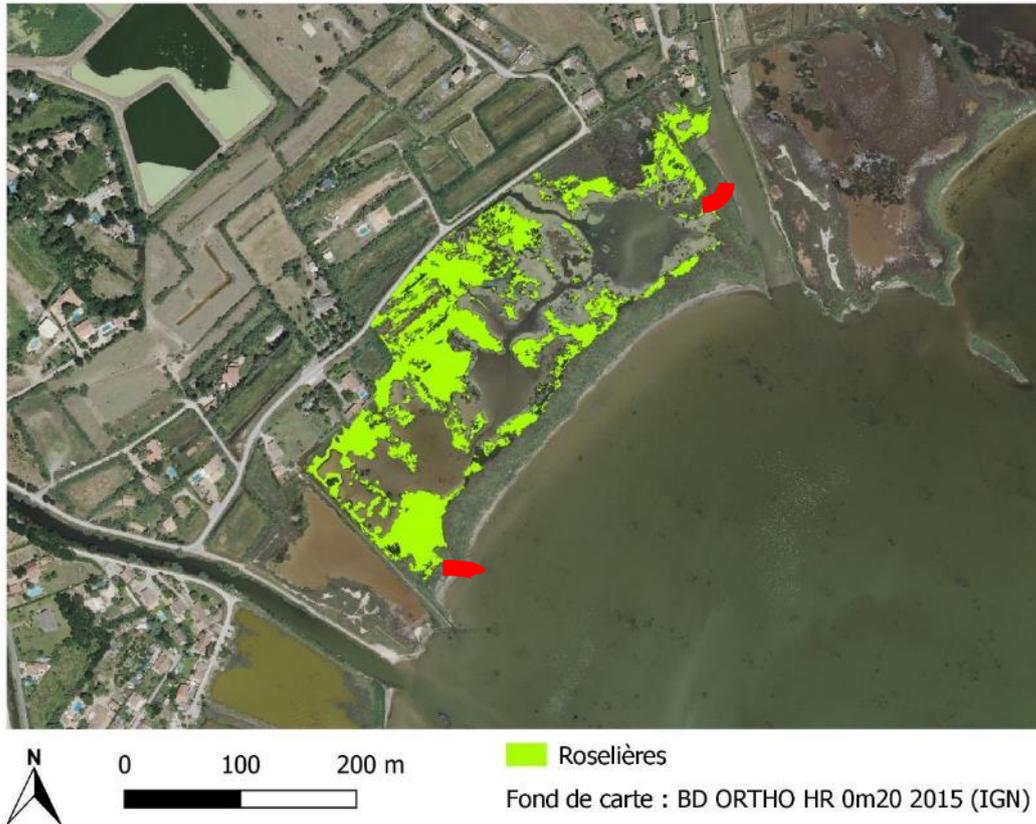


Illustration 43. Localisation de la roselière de Bentenac.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie de 2,31 ha en phragmite pure, se développe au sein du marais Bentenac. Ce dernier est situé en bordure de l'étang côtier de l'Or qui est une lagune. Il est toutefois partiellement isolé de ce dernier par un cordon de sansouïre de 5 à 10 de mètres de largeur. Ce marais est bordé par deux cours d'eau, la Capoulière à l'est et le Salaison à l'ouest. Ils débouchent tous deux dans la lagune. L'eau salée pénètre par stratification de l'écoulement à l'intérieur de ces deux cours d'eau.

Jusque dans les années 1980 ce marais hébergeait une roselière en bon état. Par la suite deux brèches se sont créées (voir localisation en rouge dans l'illustration 43). Au sud, la brèche se situe au niveau du cordon sud (constitué de sable coquiller), elle met en connexion directe le marais et la lagune. À l'est, la seconde brèche connecte le marais au cours d'eau de la Capoulière, influencé par des remontées d'eau salée de la lagune. Un important flux d'eau salé gagnait ainsi le marais, la roselière était alors à cette époque en voie de disparition.

Par la suite, en 2007, pour remédier à la dislocation de la roselière, un plan de gestion a été établi. L'objectif était ainsi de diriger l'eau des rejets de la STEP (qui partait directement dans le cours d'eau du Salaison pour se jeter dans l'étang de l'Or), vers une zone humide située dans la partie nord du marais.

Ce plan d'action a finalement été mis en place en 2009. En parallèle, la brèche au sud du Cordon s'est refermée naturellement, la brèche à l'est restant active. Dans un premier temps on a assisté au développement de la roselière uniquement dans la partie nord au niveau de la zone de rejet. Les mesures réalisées sur la nappe superficielle (piézomètres situés à 80 cm de profondeur) montrent des teneurs très fortes en sel avec une salinité de 20 à 35 g/l. Dans le plan d'eau du marais, l'eau était douce au nord et salée dans le secteur Est (5 à 20 g/l).

Plus tard, en 2016, la brèche à l'est a été colmatée. Depuis, la surface de la roselière a été multipliée par 4. Les mesures réalisées dernièrement sur le plan d'eau montrent que l'eau est douce à l'échelle du marais (salinité comprise entre 0 et 3 g/l). En souterrain la salinité de la nappe évolue entre 25 et 35 g/l.

Depuis la réparation des digues, de l'intrusion directe d'eau de mer a lieu uniquement lors des épisodes de tempêtes exceptionnelles (1 à 2 fois par an), en lien avec la remontée du niveau de l'étang de 40 à 50 cm.

Il n'y a pas eu d'assec pratiqué sur cette zone pendant 40 ans. Au cours de l'été 2020, une première expérience d'assec d'un mois et demi a été pratiquée. Un retour d'expérience, réalisé par les gestionnaires, sera réalisée en 2021.

L'envasement dans le marais mesuré depuis 2009 au niveau d'une échelle limnimétrique est de 15 cm, ce qui représente un remplissage conséquent de plus de 1 cm/an.

### ***b) Réseau de mesures***

Piézo-mètre : 3 piézomètres, suivi mensuel.

Suivi de la roselière : mensuel.

### ***c) Première interprétation***

Cette roselière était en bon état jusque dans les années 1980. La formation de deux brèches a permis à l'eau salée de la lagune de rentrer dans le marais pendant plusieurs dizaines d'années, entraînant la dislocation de la roselière. Les plans d'actions associant le comblement des brèches et l'apport d'eau de la STEP ont permis à la roselière de se redévelopper dans le marais. L'eau dans le plan d'eau est à nouveau relativement douce, mais la nappe est salée, en lien avec les intrusions d'eau salée qui ont eu lieu au cours des dernières décennies.

### 3.1.19. Marais de Plagnol (19)

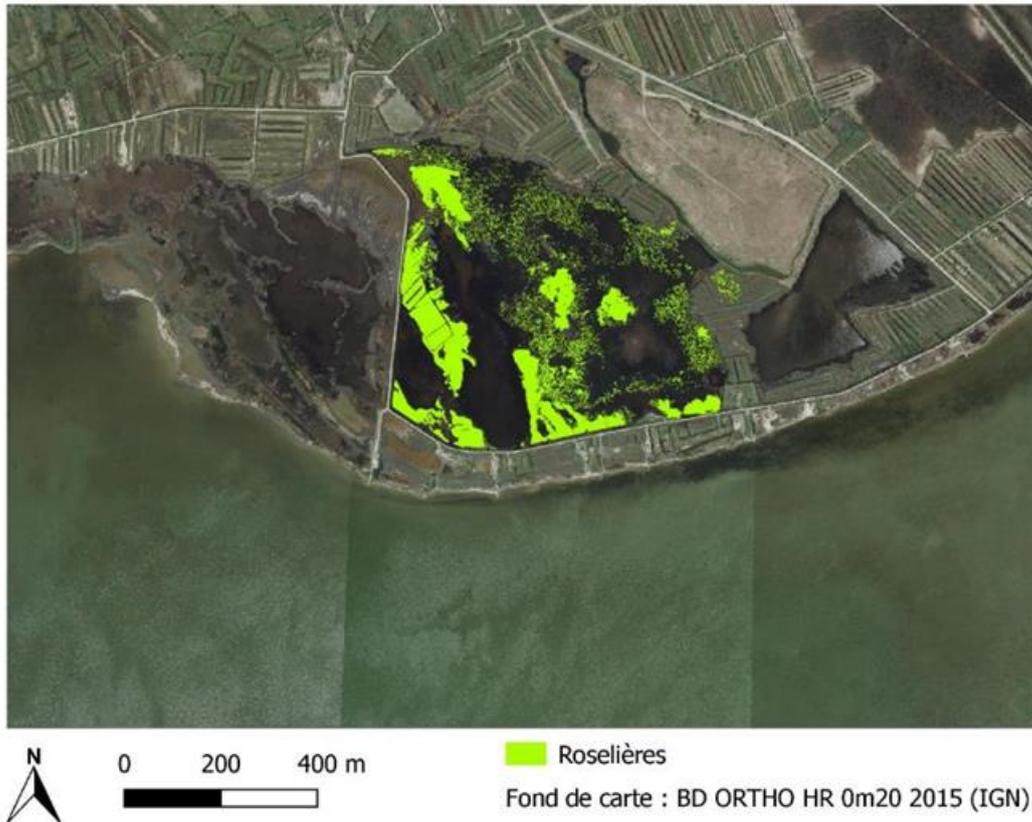


Illustration 44. Localisation de la roselière du marais de Plagnol.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 20 ha, se développe au sein du marais de Plagnol situé en bordure immédiate de l'étang de l'Or. Ce marais est partiellement isolé de la lagune par une digue qui prend la forme d'un chemin carrossable de 4 m de large qui borde le marais au sud et à l'ouest. Il est surélevé d'environ 50 cm et permet d'isoler le marais de la zone ouest salée ouverte sur la lagune de l'Or.

Ce marais est alimenté en eau douce par le cours d'eau temporaire de la Cadoule et le ruissellement sur le bassin-versant. En étiage, le cours d'eau est à sec. Du fait de la diminution d'apport d'eau douce en été, le plan d'eau s'assèche progressivement. Il y a ainsi eu trois assecs ces cinq dernières années. La salinité dans le marais est significative (4 g/l en hautes eaux et 25 g/l en été).

Le marais est parcouru par un réseau de canaux d'irrigation. Jusqu'en 2015, l'état de ce réseau (en particulier des martelières) ne permettait pas d'empêcher les intrusions directes d'eau de la lagune dans le marais. Depuis 2015, suite à des travaux sur les ouvrages hydrauliques, il n'y a plus d'apport direct d'eau salée de la lagune par les canaux d'irrigation.

Les apports d'eau douce conséquents en hautes eaux permettent au plan d'eau d'avoir des salinités plus faibles (4 à 25g/l).

Avant ces aménagements, les vannes étaient ouvertes en été pour maintenir un niveau d'eau dans le marais (activité de chasse). De l'eau salée de la lagune était directement importée.

Enfin, en période de tempête engendrant une augmentation des niveaux dans la lagune, le secteur situé à l'ouest derrière la route faisant office de digue, alimente le marais, responsable d'une intrusion saline directe.

L'état de la roselière est plutôt mauvais avec des secteurs où cette dernière est fragmentée.

### ***b) Réseau de mesures***

Piézomètre : non.

Suivi de la roselière : salinité + échelle limnimétrique (mensuel).

### ***c) Première interprétation***

Une gestion récente (depuis 2015) vise à limiter les intrusions salines directes en provenance de l'étang. Avant, l'eau salée de l'étang pénétrait notamment via les canaux d'irrigation/drainage. Ces apports réguliers d'eau salée ont très probablement conduit à une salinisation du marais et de la nappe superficielle sous-jacente. Il n'y a toutefois pas de piézomètre sur la zone qui permettrait de valider cette hypothèse.

La gestion récente devrait permettre de réduire la salinité, au moins dans le plan d'eau du marais, mais l'existence probable d'un stock de sel important sur le secteur laisse présager une salinité résiduelle importante au niveau de la nappe.

Lors des tempêtes une intrusion directe d'eau de la lagune se fait via le secteur Ouest. Ce marais est ainsi fortement impacté par les intrusions directes en période de tempête et il présente également un stock de sel lié aux apports d'eau salée pendant de nombreuses années. Il en résulte une roselière en plutôt mauvais état.

### 3.1.20. Cros Martin (20)

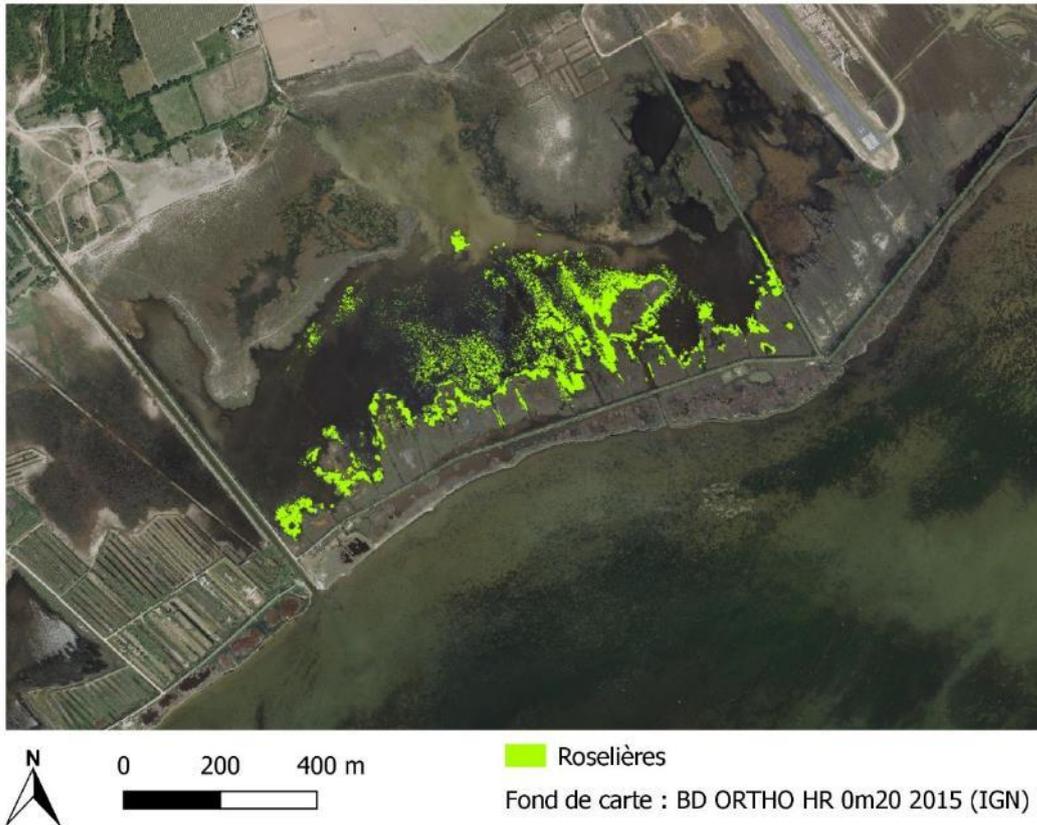


Illustration 45. Localisation de la roselière du marais de Cros Martin.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 17 ha en 2013 se développe au sein du marais de Cros Martin situé en bordure immédiate de l'étang de l'Or. Il est partiellement isolé par une digue au sud de 3 à 5 m de large.

Le marais est alimenté en eau douce par le cours d'eau de l'Aigue Vive, le ruissellement sur le bassin-versant et un pompage. L'Aigue Vive est en partie alimenté par les rejets d'une STEP. Il est en eau en général jusqu'à début juillet. L'assec estival en lien avec les apports limités d'eau se produit régulièrement (trois fois ces cinq dernières années). Il dure entre deux et trois mois. Le pompage (utilisé par la société de chasse communale) permet d'apporter en juillet de l'eau de l'aquifère situé 500 m au nord. Cette eau est saumâtre (7 g/l), son utilisation permet de limiter la diminution trop rapide des niveaux sur le plan d'eau.

La salinité du marais évolue entre 2 g/l en hiver et 8 g/l en été.

Avant 2011, la roselière était connectée à l'étang via les canaux de drainage ouverts sur l'étang. Cette roselière communale était ainsi pâturée. En 2011, les martelières connectant les canaux à l'étang ont été réparées et une clôture de 1 350 m d'ouest en est a été mise en place pour la préserver du troupeau. Suite à ces travaux, la roselière qui avait quasiment disparu s'est à nouveau développée. Avant les réparations, l'eau dans le plan d'eau pouvait monter jusqu'à 29 g/l en été. Aujourd'hui, la salinité sur le plan d'eau est beaucoup plus faible, avec au maximum une salinité de 10 g/l. En hautes eaux la salinité descend à 2 g/l. La salinité de la nappe est quant à elle importante (27 g/l).

Il faut noter le pâturage régulier depuis 2018 de la roselière (malgré la clôture) détériorant la roselière.

L'état de la roselière semble se dégrader avec une perte de surface observée ces dernières années.

### ***b) Réseau de mesures***

Piézomètre : 1 piézomètre depuis 2014, suivi mensuel.

Suivi de la roselière : suivi mensuel.

### ***c) Première interprétation***

Avant 2011 le marais était connecté à la lagune de l'Or via les canaux. Les travaux de réparation notamment sur les martelières ont permis de limiter les intrusions salines directes de la lagune. L'apport en eau douce à faiblement saumâtre conséquent permet désormais de maintenir un niveau d'eau faiblement saumâtre dans le plan d'eau (2 à 10 g/l). Les salinités importantes sur la nappe sont probablement à mettre en relation avec l'important stock de sel qui s'est accumulé durant la période où les canaux mettaient en connexion directe la lagune et le marais.

### 3.1.21. Pierre Fiche (21)

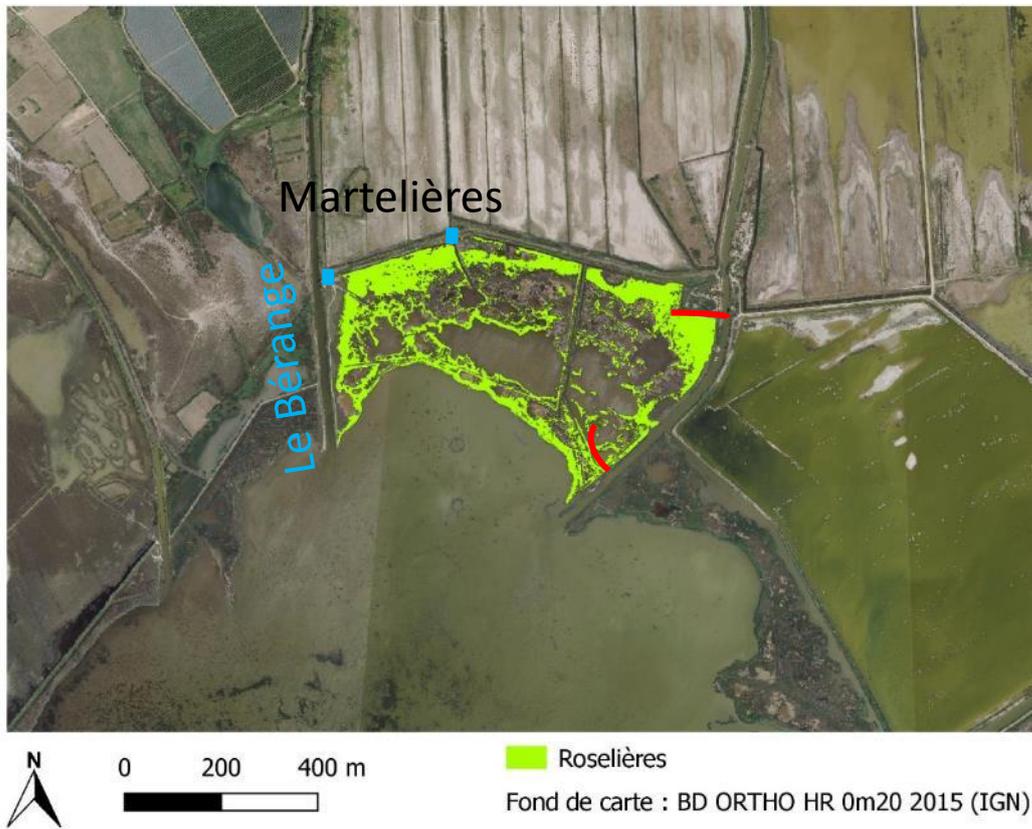


Illustration 46. Localisation de la roselière du marais de Pierre Fiche.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 12 ha en 2013, se développe au sein du marais de Pierre Fiche, situé en bordure immédiate de l'étang de l'Or et connecté avec ce dernier.

Il est alimenté en eau douce par le cours d'eau permanent du Bérange à l'ouest et le ruissellement sur le bassin-versant. Le Bérange est connecté à l'étang de l'Or avec des salinités qui varient entre 3 et 25 g/l. À l'est, il y a le canal de Lansargues. Ce cours d'eau est caractérisé par une intrusion saline significative, avec des salinités allant de 3 à 25 g/l mesurées à 1 km en amont de l'embouchure.

En 2014, le gestionnaire a entrepris des travaux de restauration d'ouvrages hydrauliques au nord du secteur et curer des roubines pour améliorer les apports d'eau douce.

Deux zones de brèches (en rouge sur l'illustration) connectaient le marais à la lagune de l'Or : une intrusion directe d'eau salée se faisait ainsi continuellement. Aucun assec était observé. En décembre 2020, des travaux de comblement de brèches ont été réalisés. Ainsi, la brèche Nord a été colmatée et sur la brèche Sud un ouvrage de gestion (emplanchoir) a été mis en place. L'impact de ces aménagements (retour des assecs estivaux, salinité) sera suivi.

La salinité du marais, comprise entre 15 et 29 g/l, est forte. La salinité de la nappe superficielle est importante (jusqu'à 35 g/l). Ces valeurs fortes sont à mettre en lien avec les intrusions directes d'eau de la lagune de l'Or qui ont lieu depuis des décennies.

L'état de conservation de la roselière est médiocre.

### ***b) Réseau de mesures***

Piézomètre : 2 piézomètres avec un suivi mensuel.

Suivi de la roselière : mensuel.

### ***c) Première interprétation***

Cette roselière était jusqu'au mois de décembre 2020 connectée à la lagune de l'Or via deux zones de brèches. Il en résultait une communication directe entre le marais et la lagune pendant des décennies, responsable de l'accumulation d'un important stock de sel dans les sédiments et la nappe superficielle. L'état de conservation de la roselière est médiocre probablement en lien avec les fortes salinités du milieu.

Les travaux récents (amélioration des apports d'eau douce et travaux sur les zones de brèches) devraient permettre dans les mois / années à venir de diminuer la salinité sur le plan d'eau. Les teneurs en sel sur la nappe resteront probablement élevées pendant de nombreuses années. L'état de la roselière devrait toutefois s'améliorer prochainement en lien avec une diminution de la salinité sur le plan d'eau.

### 3.1.22. Bénézet (22) et Saint-Nazaire – étang de l'Or (23)

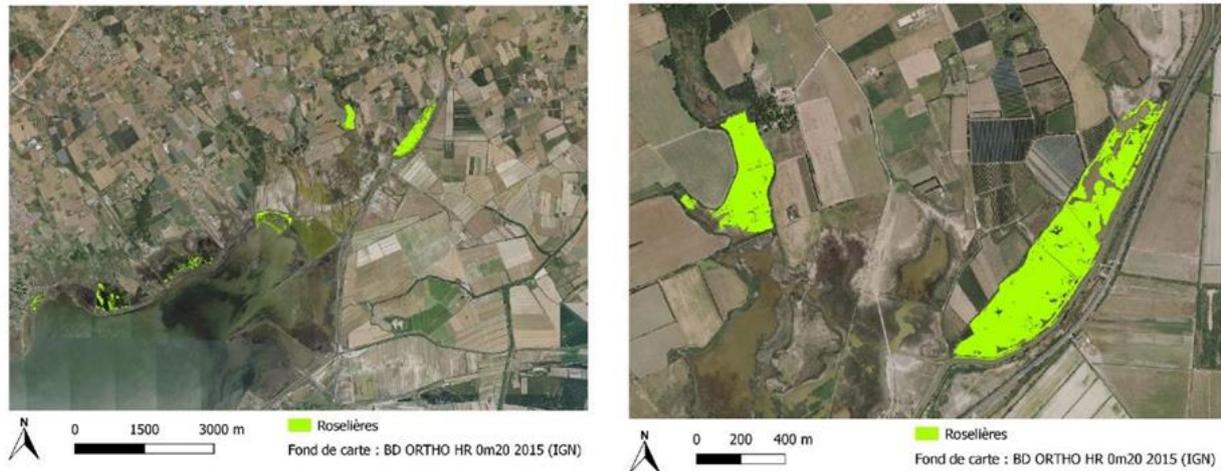


Illustration 47. Localisation des roselières des étangs de Bénézet et Saint Nazaire.

#### a) Contexte roselières

La roselière de Bénézet à l'Ouest présente une superficie d'environ 17 ha, celle de Saint-Nazaire à l'est environ 21 ha (en 2013). Elles sont toutes deux situées à environ 2,5 km à l'intérieur des terres, au nord de l'étang de l'Or. Elles sont alimentées par le ruissellement sur leur bassin versant.

La Bayonne, petit cours d'eau temporaire se jette dans le marais du Gres dont la roselière de Benezet représente la partie Nord. L'eau de ce cours d'eau temporaire est douce. La roselière communale de Saint-Nazaire est alimentée par le canal de Lunel. Une gestion hydraulique historique et empirique est menée sur ce canal et un plan de gestion intégré et concerté est en cours de réflexion.

À Bénézet un piézomètre est en place dans la roselière, il indique la présence d'une faible salinité dans la nappe qui évolue entre 0 et 5 g/l, les salinités sont comparables dans les eaux de surface. Lors des années sèches, l'assec débute dès la fin du printemps par manque d'eau. Il n'y a pas de possibilité d'apporter de l'eau sur le secteur. En 2017, le diagnostic d'état de conservation des roselières mené par le SYMBO confirmait ce manque d'eau dans la roselière. Aussi, une proposition d'aménagement sur la buse située au niveau du chemin communal au sud de la strate 1 a été proposée afin de conserver l'eau douce. La roselière est en bon état, elle est particulièrement dense et à coloniser tout le secteur, il n'y a plus de plan d'eau libre. Aussi, la roselière est fauchée chaque année (activité industrielle), finalement les roseaux se développent sur une année et sont plutôt fins (4mm de diamètre). La roselière de Bénézet est pâturée sur le secteur le plus au sud marquant la fin de la zone de la roselière.

Le canal de Lunel alimente l'étang de Saint-Nazaire. Ce canal est le réceptacle de plusieurs petits cours d'eau ainsi que du pluvial. Il se jette dans l'étang de l'Or. Il n'y a pas de barrage anti-sel dans sa partie aval. Il existe une forte variabilité annuelle du débit. Des mesures de salinité montrent la présence de sel avec des valeurs comprises entre 2 et 10 g/l. Des mesures réalisées dans le canal ont montré une intrusion d'eau de l'étang notamment en lien avec la marée. Les apports d'eau douce gérés par le canal de Lunel sont toutefois relativement limités.

La roselière présente des périodes d'assecs régulières, qui peuvent être observées même en période hivernale. La roselière de Saint-Nazaire a deux piézomètres. Les mesures révèlent des salinités plutôt faibles dans la nappe et également dans le plan d'eau. Elle est également fauchée (vente des roseaux). La roselière présente une bonne densité. Actuellement seule la moitié sud est suivie par le SYMBO (propriété de la commune de Saint-Nazaire de Pezan). La moitié nord appartient à la commune de Lunel. Cette partie de la roselière semble moins dense avec des zones de claires, certainement liées à des profondeurs plus importantes au cœur du marais, en lien avec une ancienne activité de pâturage pour les taureaux de Camargue. Aujourd'hui cette activité est abandonnée, le SYMBO pourrait récupérer à terme la gestion de ce site.

Les salinités sont faibles dans ces roselières. La salinité est d'environ 1g/l et 3 g/l respectivement pour Bénézet et Saint-Nazaire. La nappe sous-jacente est plus minéralisée avec une salinité de 5 g/l pour Bénézet et 9 g/l pour Saint-Nazaire. L'état de conservation est jugé moyen pour les roselières de Saint-Nazaire et de Bénézet.

### ***b) Réseau de mesures***

Piézomètre : oui, suivi mensuel.

Suivi de la roselière : niveau, salinité, relevé mensuel.

### ***c) Première interprétation***

Ces deux roselières ont un contexte proche. Il s'agit probablement d'anciennes zones d'étang qui étaient connectées à l'Étang de l'Or. Dans ce contexte la salinité observée dans la nappe serait plutôt une salinité résiduelle, bien qu'une salinisation de la nappe soit possible via le biseau salin. Il existe tout de même un apport direct de sel via le canal de Lunel, dans le marais de Saint-Nazaire. En effet, il n'y a pas de barrage anti-sel dans ce canal qui se jette dans la lagune et des remontées d'eau salée y sont observées avec des salinités significatives dans le canal, plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres.

Les apports en eau douce sont limités, ces roselières sont caractérisées par des hydropériodes courtes. L'état de ces roselières est jugé moyen, probablement du fait de l'apport d'eau limité.

### 3.1.23. Espiguette – Grau du Roi (24)

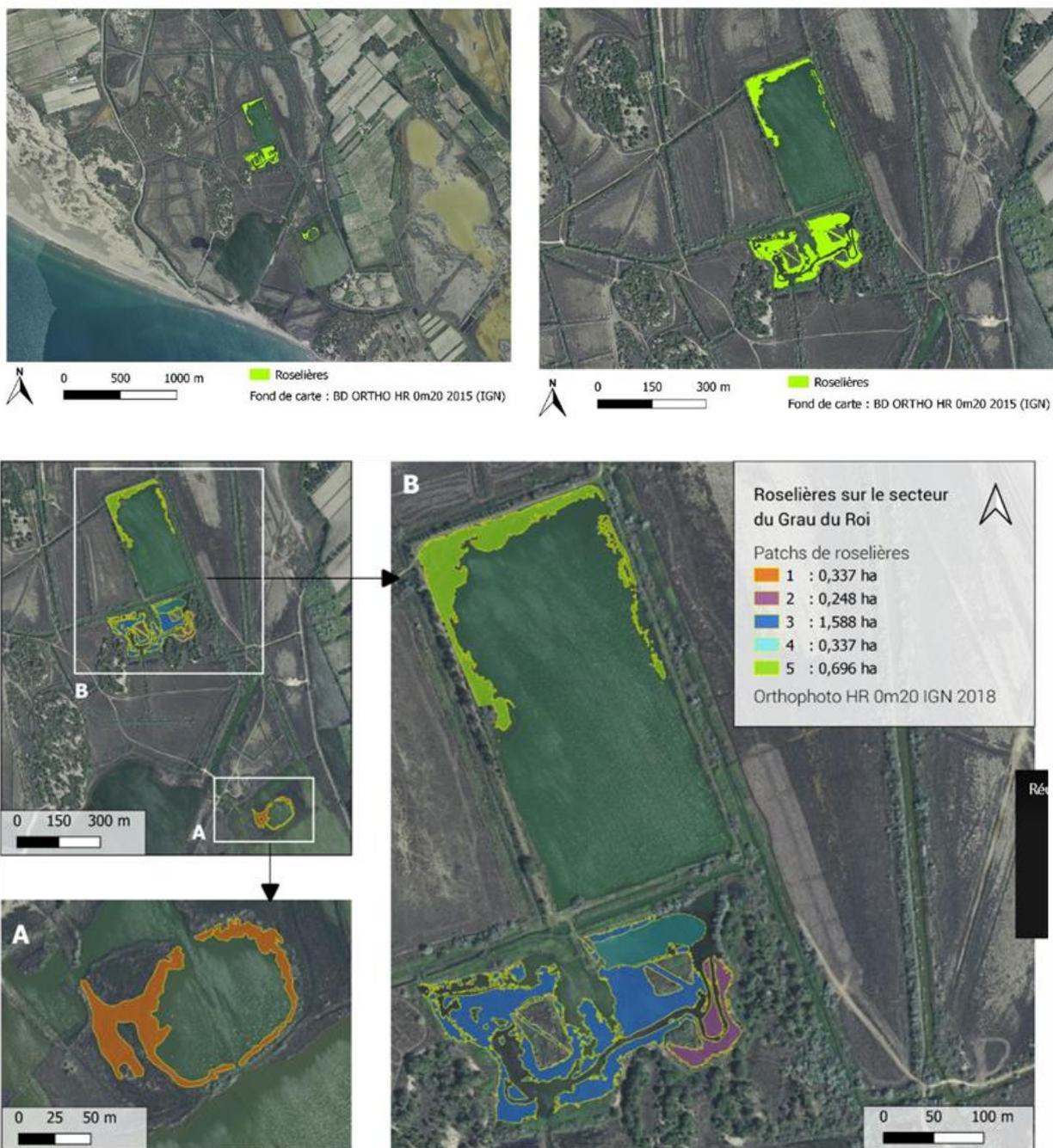


Illustration 48. Localisation des roselières de l'Espiguette.

### **a) Contexte roselière**

Il s'agit d'une roselière de petite surface composée de deux unités distinctes déconnectées, distantes de plusieurs centaines de mètres. Elles sont notées B (au nord) et A plus au sud.

L'entité B se développe à la faveur d'un rejet de lagunage (STEP du Grau du Roi) dans deux bassins hydrauliquement indépendants. Le bassin rectangulaire du nord est entretenu mécaniquement (curage régulier tous les 5 à 10 ans en lien avec le lagunage). La roselière est présente uniquement sur les berges. Lors de l'été 2020, la salinité dans le bassin était égale à 9 g/l. Le second site plus au sud est caractérisé par une roselière qui gagne l'ensemble du bassin. Sur ce site l'hydropériode est courte (assec en mai-juin), la salinité dans les zones de claires, un peu plus profondes, étaient au cours de l'été 2020 à environ 15 g/l. Malgré cet assec long et la salinité conséquente, la roselière continue de se développer probablement du fait de l'apport important en nutriments par ces eaux usées retraitées.

Le site A correspond à une ancienne excavation (travaux de terrassement). Le toit de la nappe sur ce secteur à faible altitude a ainsi été recoupé. Compte tenu de la proximité avec la mer, l'eau de la nappe est salée. Le site est également soumis au phénomène de submersion marine en période de tempête. Cet étang artificiel est aujourd'hui alimenté par une robine, réceptacle d'une partie des eaux de la STEP, située plus à l'amont (site B). La salinité mesurée en juin 2020 était de 16 g/l. Une roselière se développe en bordure de l'étang. Elle présente toutefois une fonctionnalité écologique limitée du fait d'un fort stress lié au sel.

### **b) Réseau de mesures**

Piézomètre : non.

Suivi de la roselière : pas de données.

### **c) Première interprétation**

Le site B au nord est en bon état et se développe en lien avec le flux d'eau de la STEP. Le site A soumis à la submersion marine et proche de la mer présente de plus fortes salinités (plan d'eau et nappe).

### 3.1.24. Marais de la Tour Carbonnière (25)



Illustration 49. Localisation de la roselière du marais de la Tour Carbonnière.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 38 ha, est située à 7 km de la mer à l'intérieur des terres. Le site est dédié à l'exploitation des roseaux (activité économique). La gestion hydraulique du site est ainsi réalisée afin de favoriser la croissance de ces derniers.

L'apport d'eau douce est conséquent. Au sud, l'alimentation se fait via le fleuve côtier le « Vieux Vistre » ; il n'y a pas de contrôle des apports en raison de la présence de brèches sur la digue qui borde la roselière. Des travaux de réparation ont été engagés et seront terminés à l'été 2021. L'eau circulant au sein de ce cours d'eau est douce. Lors des crues il « déborde » et alimente les parcelles. Au nord l'apport se fait via le Vistre canal. Des ouvrages d'alimentation permettent sur ce secteur de contrôler les niveaux dans le marais. Une gestion de l'irrigation est ainsi menée. L'eau du Vistre canal est plutôt douce. Toutefois, dans sa partie aval, ce canal est connecté au canal du Rhône à Sète qui est lui caractérisé par une eau évoluant selon les saisons de douce à salée. Cette connexion est responsable d'un apport temporaire d'eau salée dans le Vistre canal. Toutefois la conductivité de l'eau d'irrigation est contrôlée avant son utilisation.

La roselière est fauchée annuellement. Il n'y a pas de piézomètre dans la roselière et peu d'information sur les caractéristiques de l'eau au sein du plan d'eau. Toutefois, l'eau dans la roselière semble douce. A priori, il n'y a pas à ce jour de problème de salinité sur le secteur.

#### b) Réseau de mesures

Piézomètre : non

Suivi de la roselière : oui (non standardisé, réalisé par l'exploitant agricole)

**c) Première interprétation**

La roselière présente un bon état général. Elle est toutefois dégradée localement par la présence de nombreux ragondins sur le secteur, qui engendrent une détérioration des ouvrages hydrauliques et ont également un impact direct sur la roselière (structure et croissance des roseaux). En effet ces derniers ont une consommation importante de roseaux et réalisent des galeries pour leur habitat impactant fortement le système racinaire des roseaux.

L'eau apportée par irrigation est douce, la roselière bénéficie d'un apport d'eau conséquent qui lui permet une bonne croissance et fauchage annuel. Il n'y a pas à priori de phénomènes d'intrusion saline.

### 3.1.25. Mahistre et Musette (26)

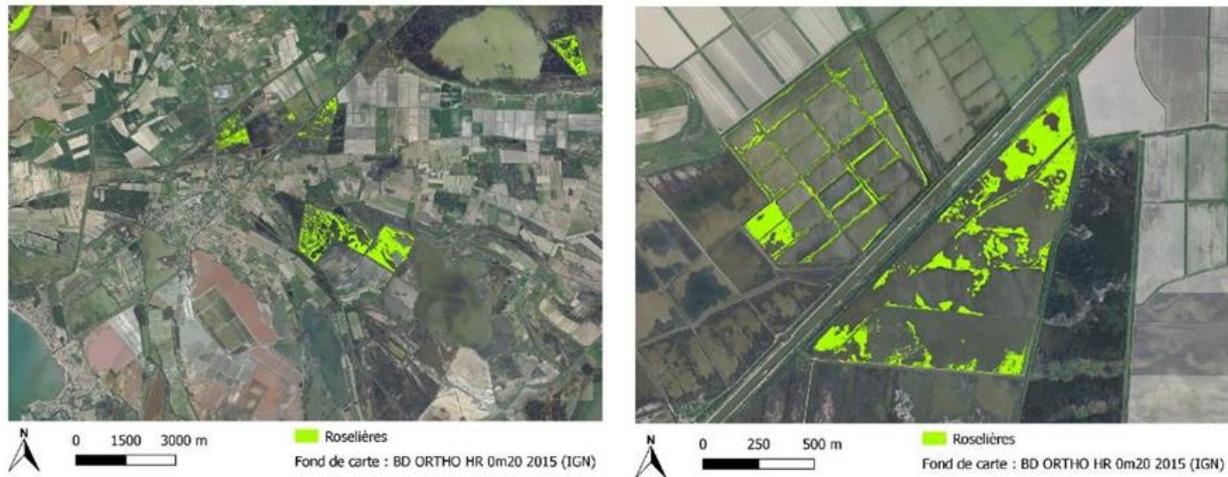


Illustration 50. Localisation de la roselière du marais de Plagnol.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 30 ha est située à 8 km de la côte. Elle est alimentée par le canal du Rhône à Sète. La salinité y est importante de l'ordre de 8 g/l. Son état a plutôt tendance à se dégrader sur le secteur Mahistre.

La roselière de Mahistre étant alimentée par le canal du Rhône à Sète, les apports sont contrôlés. La roselière de Musette est alimentée par une surverse du Vistre et également par le canal du Rhône à Sète. Lorsque les niveaux sont hauts dans ce canal, il y a un débordement permettant d'alimenter la roselière. Les niveaux hauts sont obtenus lors des crues des cours d'eau connectés (Vistre, Vidourle, petit Rhône), l'eau est alors douce. En période de coup de mer (tempête sud/sud-est) les niveaux augmentent, ils sont alors associés à une entrée d'eau de mer, l'eau dans le canal est alors salée et des débordements vers les roselières peuvent survenir côté Musette en cas de surverse dès que le niveau du canal dépasse 0,4 m NGF.

Il existe également une surverse vers Mahistre, elle ne s'active toutefois que rarement, en général moins d'une fois par an, lors des fortes crues : l'eau y est alors douce. Elle s'effectue pour une côte dans le canal supérieure à 0,9 m NGF.

La conductivité de l'eau dans le canal du Rhône à Sète est suivie afin d'optimiser l'irrigation qui est réalisée uniquement lorsque l'eau y est douce ou saumâtre (salinité inférieure à 5-6 g/l).

Le maintien en bon état de la roselière passe généralement par un assec estival régulier d'une durée d'un à deux mois et également par la présence d'une eau douce ou faiblement saumâtre en surface. Ces dernières années, lors des périodes d'assec, le gestionnaire du site a constaté une forte augmentation de la salinité sur le site. Cette dernière est liée à une augmentation de la salinité par concentration ainsi qu'une remontée de sel provenant de la nappe par capillarité. Dans ce cadre, les périodes d'assec sont à ce jour limitées afin d'éviter la surconcentration en sel.

**b) Réseau de mesures**

Piézomètre : non.

Suivi de la roselière : oui (en fonction des besoins de gestion, suivi des niveaux d'eau et de la conductivité électrique dans le plan d'eau).

**c) Première interprétation**

La Musette est moins soumise à l'intrusion saline que Mahistre (apport d'eau pour l'irrigation). Musette est en bon état mais reste peu étendue. Sur Mahistre l'état de la roselière est moins bon et présente une tendance à la dégradation.

La salinité significative observée est liée à un apport d'eau déjà saumâtre via le canal du Rhône à Sète. Une gestion des apports sur Mahistre avec un suivi de la conductivité électrique est toutefois assurée.

Aussi, la présence d'une colonie importante de ragondins contribue à la dégradation des roselières.

### 3.1.26. Domaine de Canavérier (27)

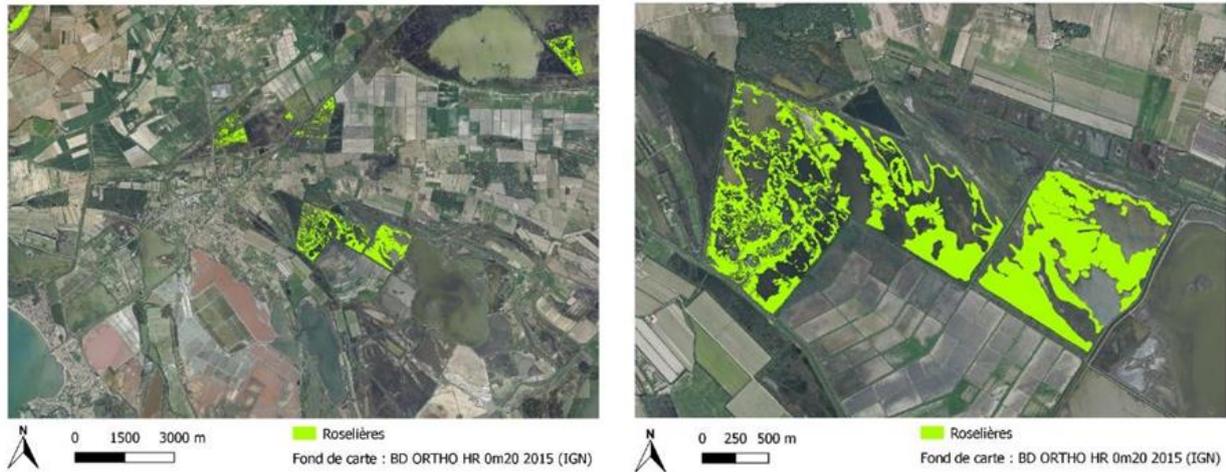


Illustration 51. Localisation de la roselière de Canavérier.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 160 ha est située à 5 km de la mer à l'intérieur des terres. Elle est alimentée par deux canaux d'irrigation : le canal du Bourgidou et le canal de la Divisoire. Ces canaux sont gérés par une ASA, l'eau provient du petit Rhône. Le gestionnaire de l'ASA fournit de l'eau dans les canaux uniquement lorsque l'eau du petit Rhône est douce.

La salinité dans la roselière est significative, comprise entre 1 à 7 g/l selon les saisons. Elle est supérieure dans la nappe, les valeurs allant de 2 à 10 g/l.

La roselière se sépare en trois compartiments. Le site le plus à l'est faisait autrefois partie du cycle de production du sel en lien avec la lagune du Lairan. Il est probable qu'un stock important de sel persiste sur ce secteur notamment au niveau des sédiments. La roselière est localement dense. Toutefois, depuis quelques années l'état de la roselière se dégrade en lien avec une diminution des apports d'eau douce. Ce diagnostic dernièrement réalisé a conduit les gestionnaires à la réalisation prochaine d'une nouvelle arrivée d'eau pour accroître localement l'alimentation en eau douce.

Dans le compartiment médian, l'état de la roselière est bon avec toutefois un début d'invasion de baccharis (arbuste ornemental invasif). L'apport en eau douce conséquent est efficace.

Le dernier compartiment le plus à l'Ouest est situé à une altitude plus haute. Du fait de sa position, il est caractérisé par des assecs précoces par rapport au reste de la roselière et aussi de plus longue durée. Ce régime bénéficie au final au développement de l'espèce invasive du baccharis. La roselière se dégrade ainsi.

**b) Réseau de mesures**

Piézomètre : oui, 5 piézomètres répartis sur l'ensemble du site (suivi mensuel).  
Suivi de la roselière : oui (suivi complet mensuel).

**c) Première interprétation**

Il existe deux sources de salinisation potentielles de cette roselière éloignée de la mer : un apport d'eau saumâtre par les canaux d'irrigation et une remontée de sel stockée dans la nappe et les sédiments, associés à la présence de lagunes saumâtres sur le secteur.

La salinisation par les canaux d'irrigations est probablement limitée, un suivi régulier de ces eaux étant réalisé par les gestionnaires du site. La salinité observée sur le site semble ainsi plutôt être héritée.

Toutefois, la salinité dans la roselière reste limitée du fait de la gestion hydraulique du site associée à l'importance de l'irrigation permettant le maintien une lentille d'eau douce superficielle.

### 3.1.27. Scamandre – Bouvaù (28)

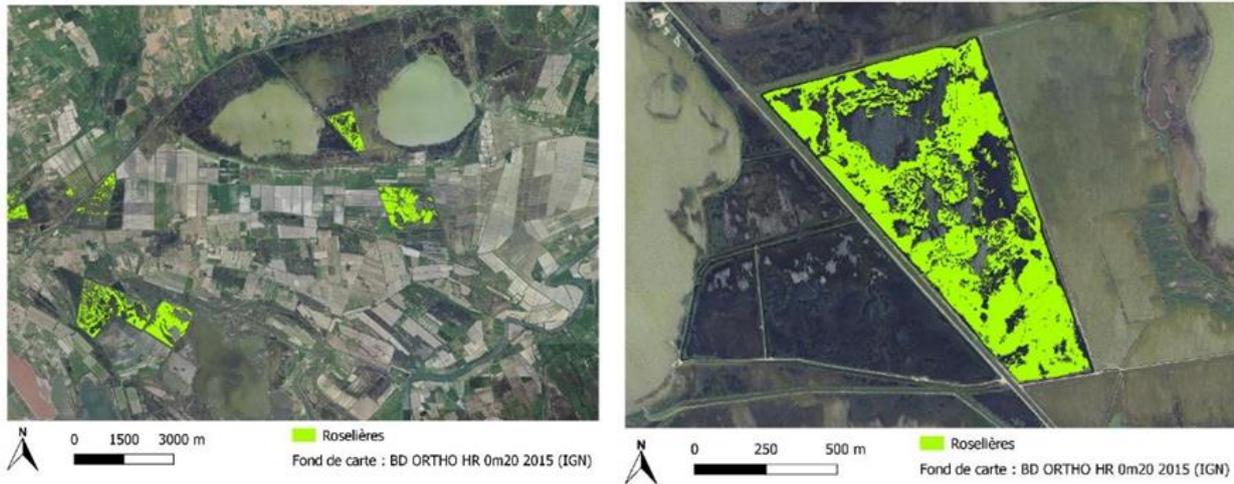


Illustration 52. Localisation de la roselière du Bouvaù.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 45 ha est située à 10 km de la mer. Elle est alimentée par le petit Rhône. La roselière se dégrade depuis plusieurs années, probablement en lien avec une augmentation de la salinité de l'eau de la nappe. L'apport en eau est contrôlé, les gestionnaires irriguent uniquement lorsque l'eau du petit Rhône est douce.

Les valeurs de conductivité sur la nappe peuvent être fortes selon les secteurs et la période de l'année, des valeurs maximales à 25 mS/cm ont par ailleurs été mesurées.

Pour limiter la concentration de sel en été (du fait de l'évaporation et des remontées de sel par capillarité), un apport complémentaire d'eau est réalisé certains étés à partir du canal du Rhône à Sète via le canal de Capette. Cette eau d'irrigation est alors légèrement saumâtre.

#### b) Réseau de mesures

Piézomètre : oui (valeurs maximales de conductivité à 25 mS/cm, suivi mensuel).  
Suivi de la roselière : oui (valeur maximale de la conductivité à 15 mS/cm).

#### c) Première interprétation

Cette roselière, bien qu'éloignée de la mer, présente de fortes minéralisations en particulier au niveau de la nappe. Le secteur correspond à une ancienne lagune, probablement responsable d'une accumulation de sel dans la nappe et les sédiments. Les faibles altitudes observées sur le site, allant de -1 à +1m NGF ne permettent pas une évacuation efficace de ce sel (lessivage et export vers l'aval). L'apport conséquent en eau douce ou faiblement saumâtre par l'irrigation assure le maintien d'une lentille d'eau douce superficielle, salubre au développement de la roselière.

En parallèle, une importante colonie de ragondins détériore la roselière. Il existe également une population dense de talèves sultanes (oiseaux consommateur des jeunes pousses de roseaux) qui contribue également à limiter la croissance des roseaux.

#### d) Équipement préconisé/réalisé

L'augmentation de la salinité observée ces dernières années milite en faveur d'une nappe fortement impactée par la salinité. À ce titre nous préconisons la réalisation d'un suivi de la nappe en continu et un suivi ponctuel du plan d'eau de la roselière.

Un piézomètre à 1 m de profondeur dans la roselière a été équipé le 30 novembre 2020, il est localisé dans la carte ci-dessous, il sera équipé d'une sonde CTD en 2021. Un suivi ponctuel de la roselière à proximité du piézomètre serait à effectuer 5 à 6 fois par an. Les niveaux et la conductivité seront ainsi mesurés.

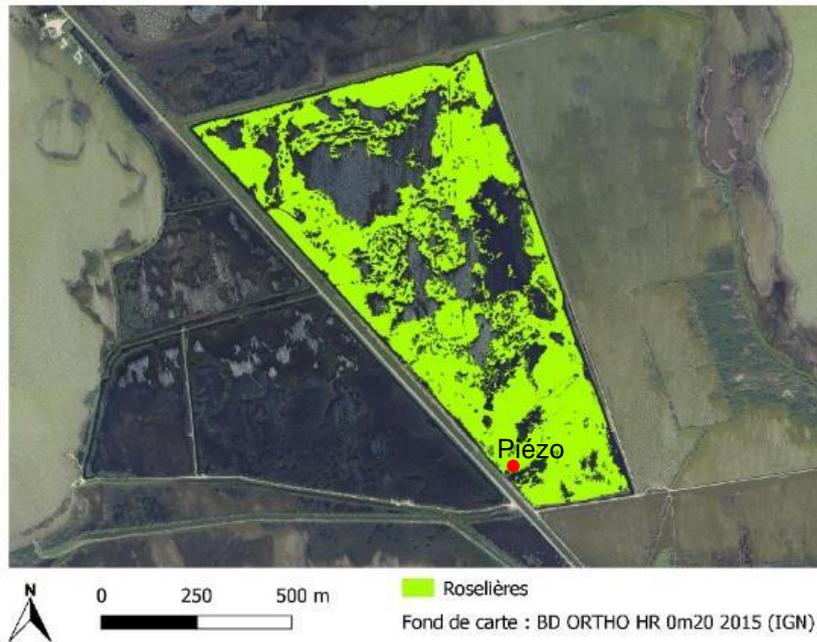


Illustration 53. Localisation du piézomètre dans la roselière.

Le jour de la mise en place, le niveau d'eau dans la roselière à proximité du piézomètre était à quelques cm sous la surface du sol, en relation avec le niveau d'eau observé dans le canal d'irrigation situé à 2 m du piézomètre. L'eau dans le canal y était légèrement saumâtre (3,7 mS/cm), elle était plus minéralisée dans la nappe superficielle avec une valeur comprise entre 7 et 8 mS/cm.

Le suivi de l'atterrissement sur le site à partir de la graduation du piézomètre est recommandé sur du moyen – long terme.



*Illustration 54. Mise en place du piézomètre (30/11/2020), mesure de la conductivité électrique dans le piézomètre et les canaux de surface (amont à gauche et aval à droite de la martelière).*

À l'issue d'une année de mesure, l'analyse des données permettra soit de valider le suivi en cours et sa poursuite, soit proposer une augmentation / réduction de la fréquence de mesure au niveau du plan d'eau de la roselière en fonction de la variabilité des paramètres mesurés.

Enfin, un atterrissement de la roselière est possible. Il n'y a toutefois pas de mesures actuellement de ce paramètre. Afin d'évaluer l'éventuel comblement de la roselière, nous proposons de mettre en place une ou plusieurs échelles limnimétriques disposées sur le sol de la roselière. Un suivi annuel est proposé, sa poursuite sur du moyen / long terme devrait permettre d'appréhender ce phénomène de comblement progressif (en général quelques centimètres à une dizaine de centimètres par décennie).

### 3.1.28. Marais des Gargattes (29)

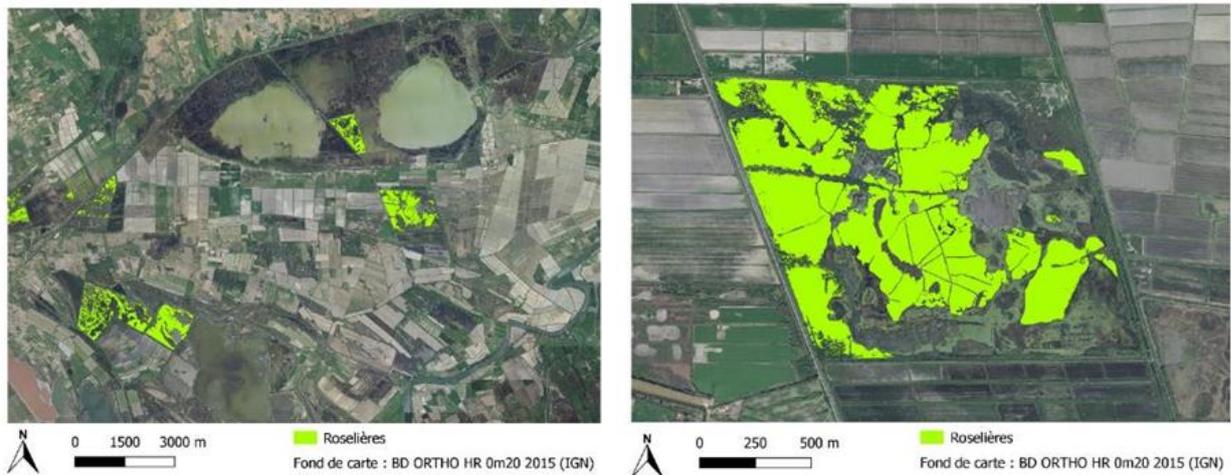


Illustration 55. Localisation de la roselière du marais des Gargattes.

#### a) Contexte roselière

Cette roselière d'une superficie d'environ 85 ha est située à une quinzaine de km de la mer. Elle est alimentée par le petit Rhône via le canal de Capette. L'eau est douce dans ce canal tout au long de l'année. La roselière est en bon état, les salinités mesurées y sont faibles.

#### b) Réseau de mesures

Piézomètre : non.

Suivi de la roselière : oui (non standardisé).

#### c) Première interprétation

Cette roselière est en dehors de l'ancienne lagune dans laquelle est située le Scamandre. Lors de l'assèchement estival, il n'y a pas de remontée salée attestant de la présence limitée de sel dans la nappe et les sédiments. L'étang est toutefois caractérisé par le fort développement de jussies (plantes aquatiques invasives), qui se développent dans les plans d'eau contigus à la roselière mais n'impactent pas cette dernière. Aussi le baccharis et le faux indigo, plantes également invasives, se développent dans la roselière et dans sa périphérie. Malgré le développement de ces espèces, la roselière reste en bon état, à priori du fait d'une bonne gestion de l'eau douce d'irrigation sur le site.

### 3.2. TYPOLOGIE DES DIFFÉRENTES INTRUSIONS SALINES

Lors de l'expertise réalisée sur les différents sites, différentes origines de la salinité ont été établies. Il s'agit de :

- salinité héritée : présence d'un important stock de sel sur le secteur (ancien salin par exemple) ;
- alimentation de la roselière avec de l'eau saumâtre ;
- intrusion directe d'eau de la lagune ou de mer dans la roselière ;
- intrusion d'eau de la lagune par le réseau hydrographique de surface ;
- remontée de sel en provenance de l'aquifère sous-jacent saumâtre/salé par capillarité en lien potentiel avec l'intrusion saline au sein de la nappe (« biseau salé »).

Les différentes roselières peuvent ainsi être rattachées à un ou plusieurs types de salinité. Une synthèse est proposée ci-dessous.

#### 3.2.1. Salinité héritée

##### a) *Étang de Capestang (6)*

Il s'agit probablement d'une salinité résiduelle provenant de la présence d'un ancien bras de mer sur ce secteur qui a perduré jusqu'au XIV<sup>e</sup> siècle. Les observations montrent toutefois qu'elle est aujourd'hui relativement faible (eau légèrement saumâtre dans la nappe superficielle).

##### b) *Étang de la Matte (7)*

Ce secteur présente un contexte comparable à celui de l'étang de Capestang avec une salinité résiduelle dans la nappe issue de la présence d'une eau marine ancienne.

##### c) *Étang de Vendres (8)*

Jusqu'en 2003 un apport direct conséquent d'eau de mer dans la lagune était réalisé (lutte contre les moustiques). Cet apport d'eau salé a conduit à une forte salinisation du milieu et notamment de la nappe sous-jacente. Aujourd'hui cet apport d'eau de mer n'a plus lieu, mais les sédiments et la nappe sont fortement salés. L'apport en eau douce actuel (STEP, canaux d'irrigation) conduit à une diminution de la salinité, mais il existe visiblement des remontées d'eau salée de la nappe dans la roselière.

##### d) *Étang du Bagnas (10)*

Ce secteur est une ancienne saline avec des sites dédiés à l'entreposage du sel. La nappe sous-jacente a été salée suite à cette exploitation. Les apports d'eau douce naturels ou par les canaux jouent aujourd'hui un rôle de dilution des eaux salées. Par contre lors de l'assèchement de la roselière la salinité augmente probablement par remontée de sel de la nappe par capillarité et également par concentration.

##### e) *Près du Baugé – Étang de Thau (12)*

Il s'agit d'un ancien site de salin, les sédiments et la nappe sous-jacente sont probablement fortement chargés en sel. Lors des périodes d'assecs estivales les remontées de sel dans la roselière sont importantes et conduisent à de très fortes minéralisations.

**f) Grande Palude (13)**

Il s'agit également d'un ancien salin, le secteur est ainsi salé.

**g) Salines de Villeneuve – Vagaran Boulas (14)**

Ce site est un ancien salin, abandonné depuis les années 1970. La présence de sel y persiste.

**h) Étang de l'Estagnol (15)**

Ce site est un ancien salin exploité du XII<sup>ème</sup> siècle jusque potentiellement au XVIII<sup>e</sup> siècle. Il en résulte un important stock de sel.

**i) Méjean (16)**

Une zone d'ancien salin est identifiée au milieu du site, conférant une salinité importante au moins sur ce secteur.

**j) Bentenac (18)**

Pendant plusieurs décennies le marais a été en connexion directe avec la lagune suite à la création au début des années 1980 de deux brèches dans le cordon dunaire. Les plans d'action mis en place ces dernières années, associant un apport d'eau conséquent d'un rejet de STEP et le comblement des brèches, ont permis de retrouver une eau faiblement salée dans le plan d'eau. Toutefois, la salinité reste forte dans la nappe. Il résulte ainsi un important stock de sel dans la nappe et les sédiments suite à la connexion avec la lagune pendant plusieurs décennies.

**k) Bénézet et Saint-Nazaire (22-23)**

Ces roselières se développent sur d'anciennes zones d'étang qui étaient connectées à la lagune de l'Or, ces étangs devaient donc être saumâtres / salés. Il est donc fort probable qu'un stock de sel perdure sur le secteur.

**l) Domaine de Canavérier (27)**

Le secteur à l'Est faisait autrefois partie du cycle de production du sel en lien avec la lagune du Lairan. Il est probable qu'un stock important de sel persiste sur ce secteur notamment au niveau des sédiments.

**m) Scamandre – Bouvaù (28)**

Le secteur correspond à une ancienne lagune, probablement responsable d'une accumulation de sel dans la nappe et les sédiments. Les faibles altitudes observées sur le site, allant de -1 à +1m NGF ne permettent pas une évacuation efficace de ce sel malgré les apports conséquents d'eau douce (lessivage et export vers l'aval).

### **3.2.2. Alimentation par une eau saumâtre**

#### **a) Sagnes d'Opoul (2)**

Cette roselière est alimentée en eau par les exutoires du karst des Corbières, en particulier par la source de Fontestramar, caractérisée par un fort débit (débit annuel moyen supérieur à 2 m<sup>3</sup>/s) et une conductivité électrique significative (1 à 10 mS/cm).

#### **b) Salines du Castellas (11)**

Un apport d'eau saumâtre via les eaux de la STEP regagne la roselière.

#### **c) Méjean (16)**

La « Roselière de la réserve » située en amont de la digue est alimentée par la Robine, ce cours d'eau est caractérisé par une eau douce à légèrement saumâtre.

#### **d) Musette (26)**

La salinité significative observée dans la roselière est liée à un apport d'eau saumâtre via le canal du Rhône à Sète.

### **3.2.3. Intrusion directe d'eau saumâtre ou salée de la lagune ou d'eau de mer dans la roselière**

#### **a) Sagnes d'Opoul (2)**

Cette roselière située en amont d'un bourrelet d'argile était naturellement isolée de la lagune de Salses-Leucate. Une dégradation de ce dernier est constatée sur plusieurs secteurs, favorisant localement les intrusions directes d'eau salée de la lagune dans la roselière.

#### **b) Méjean (16)**

La roselière située en aval de la digue était encore il y a quelques années, en partie isolée de l'étang, grâce à un bourrelet d'argile présent en bordure d'étang. Ce dernier s'est fortement détérioré suite aux importantes tempêtes de ces deux dernières années (2018-2019). À ce jour, lors des tempêtes, l'eau salée de l'étang pénètre directement dans cette partie de la roselière.

#### **c) Bentenac (18)**

La formation de deux brèches au début des années 1980 sur le cordon enveloppant le marais de Bentenac a permis à l'eau salée de la lagune de rentrer directement dans le marais pendant plusieurs dizaines d'années. La roselière s'est disloquée, l'eau de la nappe et du plan d'eau était salée.

#### **d) Marais de Plagnol (19)**

Lors des tempêtes une intrusion directe d'eau de la lagune se fait via le secteur Ouest. Ce marais est ainsi fortement impacté par les intrusions directes en période de tempête.

**e) *Marais de Pierre Fiche (21)***

Cette roselière était jusqu'au mois de décembre 2020 connectée à la lagune de l'Or via deux zones de brèches. Il en résultait une communication directe entre le marais et la lagune pendant des décennies, responsable de l'accumulation d'un important stock de sel dans les sédiments et la nappe superficielle. Cette roselière a été classée dans l'intrusion directe, mais elle pourrait également être rattachée à une salinité historique, vu que l'ouverture sur la lagune a duré des décennies.

**f) *Espiguette – Grau du Roi (24)***

La roselière située le plus au sud, à proximité de la mer (moins d'un km) et présentant une faible topographie est soumise au phénomène de submersion marine en période de tempête.

**3.2.4. Intrusion d'eau de la lagune ou d'eau de mer par le réseau de surface**

**a) *Roselière principale de l'étang de Canet - Saint-Nazaire (1)***

Cette roselière est alimentée par le cours d'eau temporaire des Llobères. Lors des périodes de fort coup de mer, l'eau de la lagune remonte via les Llobères dans la roselière.

**b) *Saint-Marcel (17)***

Cette roselière est alimentée par le ruisseau de la Jasse qui se jette dans l'étang de l'Or. Malgré la présence d'un barrage anti-sel à l'aval de ce cours d'eau, l'eau y est saumâtre une partie de l'année. Le barrage est semble-t-il peu efficace.

**c) *Marais de Plagnol (19)***

Avant le plan de gestion mis en place en 2015, l'eau salée de l'étang pénétrait dans le marais de Plagnol via les canaux d'irrigation/drainage. Ces apports réguliers d'eau salée ont très probablement conduit à une salinisation du marais et de la nappe superficielle sous-jacente. Compte tenu de ce contexte, la salinité pourrait également être rattachée à une origine héritée.

**d) *Marais de Cros Martin (20)***

Avant 2011 le marais était connecté à la lagune de l'Or via les canaux. Il en résulte une salinité importante sur la nappe. Les aménagements récents (travaux de réparation notamment sur les martelières) permettent aujourd'hui de limiter les intrusions salines directes de la lagune, mais un stock de sel important persiste dans la nappe. Compte tenu de ce contexte, la salinité pourrait également être rattachée à une origine « héritée ».

**e) *Saint-Nazaire – étang de l'Or (22)***

Cette lagune est alimentée par le canal de Lunel, qui se jette dans l'étang de l'Or. Il n'y a pas de barrage anti-sel et des remontées d'eau salées sont observées loin à l'intérieur des terres. Le canal de Lunel apporte ainsi un flux d'eau salé dans la roselière.

### **3.2.5. Échange avec l'aquifère saumâtre**

#### **a) Roselière du Petit Castélou (4)**

L'intrusion saline au sein de cette roselière semble limitée. Compte tenu de la proximité de la roselière à la lagune de Bages-Sigean, la nappe sous-jacente à la roselière doit être saumâtre (configuration de « biseau salé »). Des remontées de sel sont possibles, notamment par capillarité en période de basses eaux. Les salinités au sein de la roselière semblent toutefois limitées, probablement du fait d'un apport important d'eau douce qui maintient une lentille d'eau douce sur le site limitant les intrusions salines. Le suivi mis en place (site pilote) devrait permettre de mieux caractériser les relations entre la nappe et la lagune.

#### **b) Roselière de Pissevaches (5)**

Les conductivités électriques mesurées dans la roselière sont liées à des remontées de minéraux présents dans la nappe, cette dernière est très salée, en relation avec l'étang sur salé de Pissevache (conductivité de 40 à 200 mS/cm).

#### **c) Gran Salan – étang de Maire (9)**

Ce secteur est situé à proximité des lagunes saumâtres de Maire et Rivierette, la nappe sur ce secteur est saumâtre en lien avec le biseau salin. Selon le niveau d'eau dans la roselière il existe des échanges avec la nappe. Ainsi en période d'assec estival des remontées de sel de la nappe se font dans la roselière.

#### **d) Salines du Castellas (11)**

Il existe des apports de sel en provenance de la nappe en particulier en été.

#### **e) Salines de Villeneuve – Vagaran Boulas (14)**

En période de basses eaux, la nappe en lien avec l'étang de Vic apporte une salinisation dans la roselière.

#### **f) Espiguette (24)**

Les roselières de L'Espiguette sont proches de la mer et caractérisées par des topographies proches du niveau de la mer. Dans ce contexte littoral, la nappe sous-jacente est saumâtre en lien avec les échanges eaux douces – eaux salées (configuration du biseau salé).

### 3.3. SYNTHÈSE : SENSIBILITÉ DES ROSELIÈRES AUX PHÉNOMÈNES DE SALINISATION

La quasi-totalité des roselières du littoral d'Occitanie présente une sensibilité à la salinisation, du fait de la proximité avec les lagunes ou la mer. En effet, plusieurs roselières se développent sur d'anciennes zones de salin ou en bordure de lagune ou de la mer. Il s'agit d'espaces salés notamment au niveau des aquifères. Il existe des interactions fortes entre les différents milieux, conduisant à des intrusions d'eaux marines, soit directes via le réseau de surface (et également les zones de brèches) ou lors de phases de submersion (périodes de tempêtes), soit plus inertielles via les transferts souterrains au sein des aquifères. La salinisation des aquifères induit une salinisation dans la roselière en particulier en période d'assec estival, où l'on assiste à des remontées dans la roselière par capillarité.

**Aussi, sur plusieurs sites, l'état de la roselière est jugé satisfaisant, bien que le secteur présente des salinités significatives (en particulier au niveau de la nappe). Il semblerait ainsi que la qualité de la roselière puisse être maintenue par un apport d'eau douce ou saumâtre conséquent même dans un contexte d'environnement salé. La roselière des Sagnes d'Opoul, au sein de laquelle l'eau de la nappe est salée, reflète bien ce comportement. En effet, cette roselière est marquée dans sa partie nord par une intrusion directe d'eau salée de la lagune de Salses-Leucate via des zones de brèches dans le cordon argileux. Il en résulte sur ce secteur une eau salée dans le plan d'eau, la roselière est en cours de dépérissement. À l'inverse, sur sa partie sud, il n'y a pas d'intrusion saline directe, l'eau dans le plan d'eau est ainsi beaucoup moins salée, et la roselière est en meilleur état. Finalement, le paramètre « présence d'une eau douce à saumâtre permanente dans la roselière » semble ainsi prépondérant pour le développement de la roselière, malgré la présence d'une salinité forte dans la nappe.**

Une période d'assec régulière (1 à 2 mois tous les 2 à 4 ans) est théoriquement préconisée pour le bon développement de la roselière (B. Poulin, 2002). Toutefois, sur des secteurs fortement minéralisés, certains gestionnaires souhaitent tester l'alternance des périodes d'assec par le maintien d'un niveau d'eau minimum dans la roselière. Cette pratique permettrait de conserver en été une « lentille d'eau faiblement minéralisée ». Cette dernière permet d'éviter les remontées de sel responsables des fortes teneurs estivales observées, qui sont à terme préjudiciables à la roselière. Le maintien de cette lentille d'eau douce assurerait un gradient de charge hydraulique descendant et éviterait ou limiterait ainsi les remontées d'eau salées.



## 4. Vulnérabilité au changement climatique

### 4.1. MÉTHODOLOGIE

La vulnérabilité au changement climatique des roselières est appréciée dans cette étude en confrontant leur topographie approchée, le plus précisément possible, par les jeux de données topographiques récents, à des scénarios de submersion marine calculés à deux échéances : 2030-2050 et 2100.

Derrière ce terme « 2030-2050 », il faut comprendre « scénario moyen », qui se situe au centre de l'intervalle. Le comité de suivi du programme avait émis le souhait d'avoir une projection à moyen terme à 2050 plutôt que court terme à 2030. Mais, compte tenu des incertitudes actuelles, les écarts de niveau marin entre ces deux dates ne seraient pas visibles ou tout du moins pas assez significatifs car dans la marge d'erreur des études prospectives du niveau de la mer. Aussi, il a été choisi de retenir cette échéance « 2030-2050 » correspondant à une élévation de +0,2 m, pour lequel il est raisonnablement possible de commencer à voir un effet visible de la remontée du niveau de la mer. Cela revient à se placer approximativement en 2040 suivant l'hypothèse pessimiste et en approximativement en 2030 suivant l'hypothèse extrême.

Pour l'échéance 2100, deux hypothèses sont utilisées : une hypothèse pessimiste 2100, et une hypothèse extrême 2100<sup>+</sup>.

#### 4.1.1. Méthode de submersion simplifiée régionale

La méthode utilisée est basée sur celle du projet MISEEVA<sup>3</sup> mené par le BRGM en 2010 (Serrand *et al.*, 2013). Elle utilise une approche simplifiée de projection statique à terre du niveau marin :

- pas de notion sur la durée de la submersion ni sur la vitesse de propagation de l'eau ;
- un même niveau marin est considéré sur l'ensemble de la façade malgré les différences existantes d'un site à l'autre.

L'utilisation d'une approche dynamique reflèterait de manière plus juste la progression au cours du temps de la submersion à terre, mais elle aurait aussi été beaucoup couteuse. L'approche simplifiée choisie est aussi en ce sens plus adaptée aux enjeux du présent projet.

#### a) Les niveaux marins et les scénarios choisis

Les scénarios choisis sont eux aussi basés sur ceux utilisés dans le projet MISEEVA. Deux échéances sont utilisées pour les construire, 2030-2050 et 2100.

Pour chaque scénario, les zones submergées sont estimées de manière **Permanente**, **récurrente**, et **exceptionnelle** :

- **permanente** : représente les terrains qui seront sous l'eau une grande partie de l'année. Le niveau marin correspondant considéré actuellement est le niveau moyen à Sète (0,17 m) ;
- **récurrente** : niveau atteint une fois par an par conditions météorologiques calmes et des vagues moyennes (sans tempête) ;
- **exceptionnelle** : correspond à une tempête d'occurrence centennale (probabilité de 1/100 de survenir chaque année).

<sup>3</sup> Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité de la zone côtière Languedoc-Roussillon face à la submersion marine.

## ● Les niveaux marins

Les niveaux marins choisis ici sont ceux utilisés (Illustration 56) dans l'étude BRGM-CEREMA réalisée en 2020 pour l'EPF<sup>4</sup> Occitanie visant à caractériser l'impact de la montée du niveau de la mer sur les valeurs foncières du littoral d'Occitanie (BRGM-CEREMA, 2020). Ces niveaux sont ceux au plus proche des connaissances et des préconisations actuelles pour réaliser ce type d'analyse :

- synthèse - prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles (DGEC<sup>5</sup>-ONERC<sup>6</sup>, 2010). Cette synthèse DGEC-ONERC (2010) s'appuie sur une analyse des hypothèses du 4<sup>e</sup> rapport du GIEC qui fait toujours référence dans le domaine de la prévention des risques ;
- guide méthodologique – Plan de prévention des risques littoraux (DGPR<sup>7</sup>, 2014).

Hypothèse	2030	2050	2100
Optimiste	+ 0,10 m	+0,17 m	+ 0,40 m
Pessimiste	+ 0,14 m	+ 0,25 m	+ 0,60 m
Extrême	+ 0,22 m	+ 0,41 m	+ 1,00 m

*Illustration 56. Projections d'élévation du niveau de la mer par rapport aux valeurs de la fin du XX<sup>e</sup> siècle, exprimées en mètre en fonction de l'année (DGEC-ONERC, 2010).*

Le tableau de l'ONERC (Illustration 56) n'est pas remis en cause par les rapports du GIEC récents. L'hypothèse pessimiste est celle toujours utilisée actuellement pour l'élaboration des Plans de prévention des risques littoraux (DGPR, 2014). Cependant les dernières publications scientifiques (IPCC, 2019; Meyssignac, 2019) laissent à penser que le scénario extrême de l'ONERC deviendrait un scénario probable.

Comme expliqué en introduction de la méthodologie, pour le scénario 2030-2050, l'intervalle de temps étant faible (20 ans), la variation de niveau modélisée se trouve dans la marge d'erreur des études actuelles. Aussi, pour cette échéance, la remontée choisie est de +20 cm.

Pour l'échéance 2100, deux valeurs de remontée de +0,60 m et +1 m, sont analysées. Elles correspondent respectivement aux hypothèses pessimiste et extrême, au vu des incertitudes existantes.

L'ONERC (2010) précise que pour l'hypothèse extrême une remontée du niveau marin de +0,60 m interviendrait approximativement en 2070.

<sup>4</sup> Établissement Public Foncier

<sup>5</sup> Direction Générale de l'Énergie et du Climat

<sup>6</sup> Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique

<sup>7</sup> Direction Générale de la Prévention des Risques

### ● Les scénarios retenus

Au final, les scénarios pour chaque type de submersion (permanente, récurrente et exceptionnel), sont obtenus en réalisant la somme des niveaux actuellement connus et la valeur de la remontée du niveau marin pour chaque échéance. On obtient ainsi les résultats suivants :

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	+ 0.4 m NGF	+ 0.8 m NGF	+ 1.2 m NGF
Scénario récurrent	+ 0.7 m NGF	+ 1.1 m NGF	+ 1.5 m NGF
Scénario exceptionnel	+ 2.00 m NGF	+2.40 m NGF	+2.80 m NGF

*Illustration 57. Scénarios de submersion retenus pour l'étude (arrondis à la dizaine de centimètres supérieure).*

### b) Propagation à terre

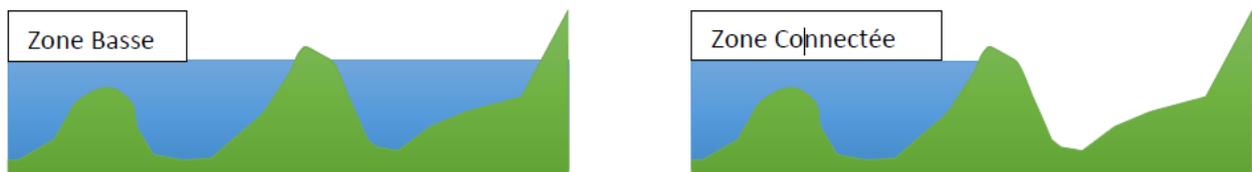
Pour propager une submersion à terre plusieurs méthodes existent, de la simple projection à terre d'un niveau remplissant les cuvettes à la modélisation numérique (Nicolae Lerma *et al.*, 2017).

À l'échelle régionale de ce travail, des méthodes plus fines seraient trop coûteuses (temps et budget) pour analyser et renseigner de manière homogène et exhaustive les modèles numériques de terrain (enrichir précisément les MNT par les obstacles présents sur le trajet de la submersion) et calculer les volumes d'eau franchissant les aménagements de bord de mer ou entrant dans les lagunes.

Dans cette étude, les scénarios sont propagés à terre de manière homogène (niveau unique sur toute la zone côtière concernée, selon les deux méthodes mises en œuvre pour l'étude BRGM-CEREMA (2010) réalisée pour l'EPF Occitanie). Celles-ci reposent sur de l'analyse altimétrique et des sens d'écoulement et non sur de la modélisation numérique des phénomènes.

La première méthode (méthode dite « Zone Basse ») consiste à remplir toutes les zones basses situées sous le niveau marin de chaque scénario (Illustration 58). Cette méthode est réaliste dans le cas d'une remontée du niveau moyen des mers. Le niveau des étangs connectés à la mer va suivre l'évolution du niveau moyen de la mer. Il est fort probable que les cuvettes en zone littorale se remplissent même si elles ne sont pas directement connectées à la mer ou à un étang car la nappe phréatique va également monter et les zones basses ne pourront pas s'écouler de manière gravitaire.

La deuxième méthode (méthode dite « Zone Connectée ») consiste à remplir les zones basses situées sous le niveau marin mais à s'arrêter aux premiers obstacles (Illustration 58), dès lors qu'aucune connexion connue ou avérée n'est existante avec les zones situées en arrière. Cela limite les zones submergées, ce qui est plus réaliste dans le cas des tempêtes aux durées limitées. Les volumes entrant ne peuvent pas remplir des zones étendues.



*Illustration 58. Remplissage des zones submergées pour un niveau marin donné selon, à gauche, la méthode Zone Basse et, à droite, la méthode Zone Connectée.*

Dans cette étude, la méthode dite « Zone connectée » a été appliquée à l'ensemble des roselières à l'exception de deux, Grande Palude et Grau du Roi (Espiguette). Pour ces deux cas, l'étude de leur contexte hydrogéologique a montré que leur submersion sera très probablement contrôlée par la remontée de la nappe phréatique même si les roselières ne sont pas directement connectées à la mer par des canaux ou des lagunes. Sur ces deux roselières la méthode « Zone basse » a donc été appliquée.

Pour l'application de la méthode « Zone connectée », les connexions existantes entre les roselières et le trait de côte (maritime ou des lagunes) ont donc été recherchées afin, le cas échéant, de propager la submersion plus loin dans les terres. Le trait de côte utilisé est le trait de côte HISTOLITT® du SHOM<sup>8</sup>.

## 4.1.2. Topographie

### a) Données utilisées

Les données topographiques disponibles sur le territoire régional sur lequel les roselières sont réparties sont :

- données IGN, modèle numérique de terrain (MNT) représentant un maillage régulier d'un point tous les 25 mètres ;
- données LiDAR Litto3D® (SHOM-IGN, 2009), MNT avec un maillage régulier d'un point tous les mètres.

Il existe un second levé LiDAR Litto3D® réalisé en 2014-2015, avec un maillage régulier d'un point tous les mètres, mais il ne concerne seulement qu'une faible bande terrestre n'incluant pas les roselières du programme ADENA.

Une première analyse menée par l'ADENA en 2019 a montré que les données topographiques IGN (pas de 25 mètres) et Litto3D® 2009 (MNT 1 m.) sont insatisfaisantes pour décrire de manière fiable la topographie des roselières. Un écart important (supérieur au mètre) subsiste en effet entre la donnée terrain (fond de la roselière ou bathymétrie, voire même la surface de l'eau) et ces données. L'idéal eut été de disposer de la bathymétrie de chaque roselière, donnée qui au moment de l'étude n'existait pas et qu'il aurait été fort coûteux d'acquérir.

Aussi, il a été proposé de travailler sur les nuages de points du levé LiDAR litto3D de 2009. Ces points sont les véritables points de mesure du levé. Ils ont donc une réalité physique plus proche du terrain comparativement au MNT qui est une surface approchante modélisée. Une analyse préliminaire a en effet montré que ces points apportent une information complémentaire plus satisfaisante et plus proche de la topographie recherchée. À l'aide du logiciel Cloud Compare®, ces points d'origine ont été filtrés en utilisant le plugin Cloth Simulation Filter (CSF) (Zhang *et al.*, 2016) pour en exclure la portion la plus haute correspondant à la végétation notamment (Illustration 59. Principe du filtrage Cloth Simulation Filter (CSF) (Zhang *et al.*, 2016) sous Cloud Compare® Illustration 59). Un test préliminaire a été réalisé sur la roselière de La Matte. Il a ainsi pu être constaté que le MNT réalisé à partir des points issus de ce filtrage se trouve effectivement en dessous de la surface du MNT Litto3D® (parfois de plusieurs décimètres, Illustration 60) et donc plus proche de la réalité terrain.

---

<sup>8</sup> Service Hydrographique et Océanographique de la Marine

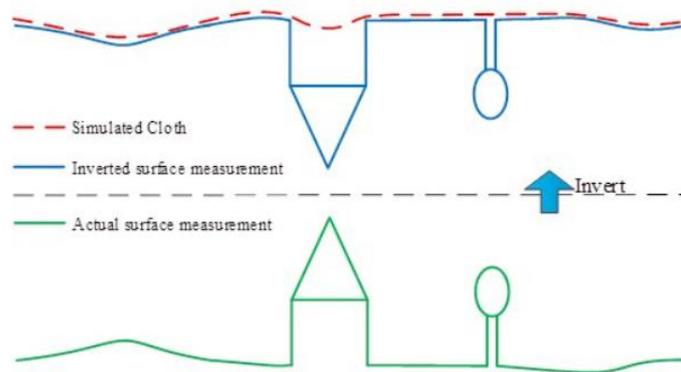


Illustration 59. Principe du filtrage Cloth Simulation Filter (CSF) (Zhang et al., 2016) sous Cloud Compare®.

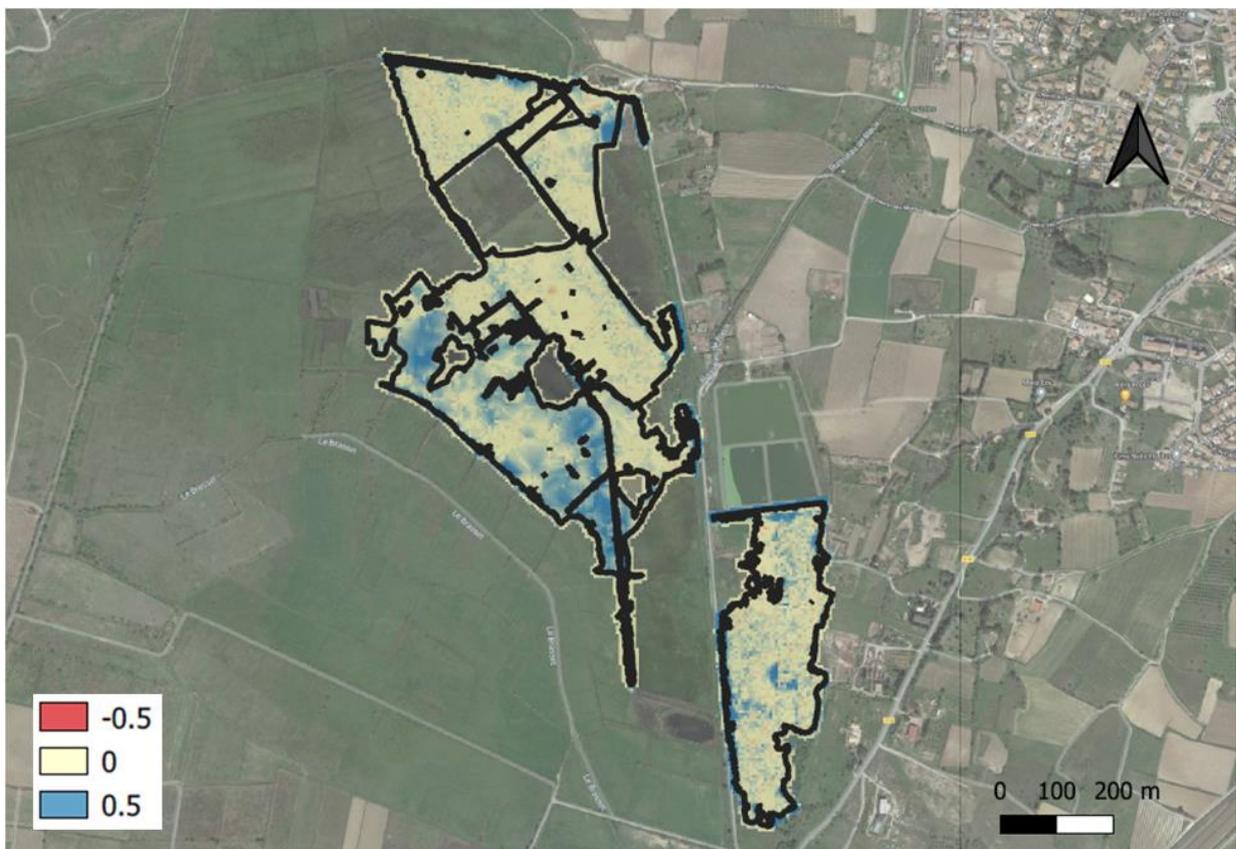


Illustration 60. Comparaison (différence en mètres) entre altitude donnée par le MNT Litto3D® 2009 et celle du MNT créé avec les points de mesure (nuage de points) du même levé Litto3D® filtrés avec le plugin Cloth Simulation Filter (CSF) du programme Cloud Compare (Zhang et al., 2016). Exemple de la Roselière de La Matte.

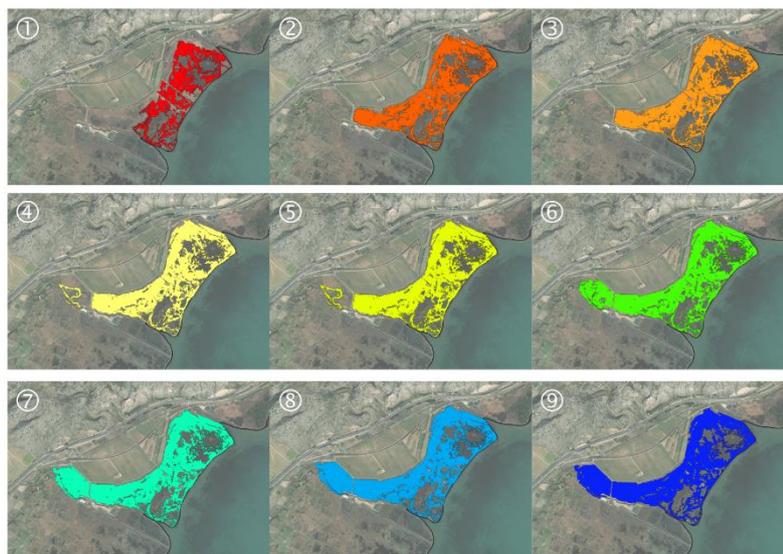
Un travail d'extraction des points de mesure du levé Litto3D de 2009 a donc été réalisé pour chaque roselière. Puis, par analyse statistique, seuls les points les plus bas ont été conservés sur le périmètre des polygones de chaque roselière. À partir de ceux-ci une surface moyenne a été calculée. C'est sur cette surface topographique qu'ont été ensuite projetés les neuf scénarios de submersion retenus pour cette étude.

La méthode permet donc de déterminer quels scénarios vont impacter les roselières de manière permanente, récurrente ou lors d'un évènement exceptionnel, pour chacune des échéances temporelles choisies et d'estimer le niveau d'impact en terme de pourcentage de surface potentiellement recouverte.

Le travail réalisé ne fournit pas une cartographie continue à l'échelle régionale de la limite d'extension à terre de chaque scénario de submersion, mais une analyse circonscrite à chaque roselière. Une analyse régionale aurait nécessité un travail plus long et complexe (préparation et temps de calcul). La vulnérabilité n'est donc pas estimée en dehors des secteurs de roselière, information qui aurait été intéressante pour analyser les secteurs potentiellement moins vulnérables sur lesquels un repli, une reconstitution de roselières pourraient être envisagés.

#### 4.1.3. Cartographie des scénarios par roselière

La surface topographique moyenne calculée pour chaque roselière à partir de l'extraction des points les plus bas des nuages de point LiDAR est croisée avec les niveaux d'eau de chaque scénario utilisé pour l'étude. Ce travail a été réalisé sous SIG avec le logiciel QGIS. En sortie de ce traitement géographique, neuf couches géoréférencées (polygones) sont créées, une par scénario (Illustration 61 et Illustration 62), correspondant à la délimitation sur chaque roselière des espaces (surfaces) recouverts par la submersion. Pour présenter les résultats il a été choisi de juxtaposer les cartographies de chaque scénario dans l'ordre de l'altitude croissante de leur niveau de submersion.



*Illustration 61. Juxtaposition des 9 scénarios dans l'ordre des altitudes croissantes de submersion pour la roselière de Sagne d'Opoul.*



*Illustration 62. Exemple de la cartographie des zones submergées de la roselière de Sagne d'Opoul pour le scénario □ 2030-2050 (+0,4 m NGF).*

La table attributive de ces couches recense chaque roselière touchée, sa surface totale, la surface submergée, et le pourcentage de la surface totale que cette dernière représente (Illustration 63).

Num	Roseliere	Surface	Shape_Area	%_surf_Tot
1	Canet	650948,4668440...	637513,5132256...	97,9
5	Pissevaches	202327,1033930...	70218,26202735...	34,7
9	Grande Maire	103230,0647860...	70715,85428799...	68,5
10	Bagnas	503520,4823779...	384633,9367530...	76,4
11	Castellas	33103,68850560...	7876,60810259469	23,8
12	Pres du Bauge	152512,7138400...	145280,9470085...	95,3
14	Vagaran-Boulas	159404,9587740...	158756,4426794...	99,6
16	Mejean	613297,5545100...	380621,6807841...	62,1
17	Saint Marcel	120383,2313290...	114967,3827672...	95,5
18	Bentenac	19955,56701740...	7675,50663872616	38,5
19	Marais de Plag...	82938,12645890...	82931,26286444...	100,0
20	Cros Martin	51440,64412650...	51440,12445443...	100,0
21	Pierre Fiche	82244,85712230...	81960,83378848...	99,7
22	Saint Nazaire	256599,6777620...	256393,2018150...	99,9
23	Benezet	88827,42135210...	87606,43548624...	98,6
26	Mahistre et Mu...	243083,1791140...	70792,24465763...	29,1
27	Canaverier	1582004,629590...	1581680,038301...	100,0

Illustration 63. Exemple de table attributaire d'une couche SIG d'un scénario de submersion.

Dans la table attributaire, seules figureront les roselières touchées par le scénario correspondant. Les roselières absentes ne sont pas touchées par ce scénario.

## **4.2. RÉSULTATS DE LA CARTOGRAPHIE DES SCÉNARIOS DE SUBMERSION SUR LES ROSELIÈRES D'OCCITANIE**

Les résultats cartographiques des scénarios de submersion appliqués pour chaque roselière étudiée dans ce projet sont rassemblés en fin de rapport dans l'Annexe 1.

L'examen de cette cartographie et des tables attributaires des différentes couches produites pour chaque scénario fournit les éléments pour analyser la vulnérabilité des roselières selon trois critères principaux rassemblés dans le tableau de l'illustration 64 :

- le premier scénario de submersion atteignant chaque roselière ;
- le premier scénario de submersion permanente, pour lequel la roselière sera partiellement ou totalement sous l'eau marine une grande partie de l'année ;
- le premier scénario pour lequel la roselière sera totalement recouverte, avec une distinction si ce scénario est permanent, récurrent ou exceptionnel.

Pour chaque critère est également précisé le pourcentage de la surface totale impacté de chaque roselière.

N°	Nom roselière	Surface (m <sup>2</sup> )	Premier scénario submersion		Premier scénario permanent		Submersion en totalité
			N°	% surface totale	N°	% surface totale	N°
1	Canet - St-Nazaire	650 948	1 P	3%	1 P	3%	4 R
2	Sagnes d'Opoul	899 908	1 P	42%	1 P	42%	7 E
4	Petit Castelou (Marais du Narbonnais)	511 121	4 R	94%	5 P	96,50%	6 R
5	Pissevaches	202 327	3 P	35%	3 P	35%	5 P
6	Capestang	1 999 847	-	-	-	-	-
7	La Matte	299 134	8 E	93%	-	-	9 E
8	Vendres	2 353 207	4 R	100%	5 P	100%	4 R
9	Grande Maire	103 230	2 R	54%	3 P	68,50%	6 R
10	Bagnas	503 520	1 P	50%	1 P	50%	6 R
11	Castellas	33 104	1 P	12%	1 P	12%	6 R
12	Prés du Baugé	152 513	3 P	95%	3 P	95%	4 R
13	Grande Palude	36 591	1 P	100%	1 P	100%	1 P
14	Vagaran-Boulas (salines de Villeneuve)	159 405	3 P	100%	3 P	100%	3 P
15	Estagnol	384 525	8 E	100%	-	-	8 E
16	Méjean	613 298	1 P	13%	1 P	13%	5 P
17	Saint-Marcel	120 383	2 R	93,5%	3 P	95%	4 R
18	Bentenac	19 956	1 P	52%	1 P	52%	3 P
19	Marais de Plagnol	82 938	2 R	100%	3 P	100%	2 R
20	Cros-Martin	51 441	2 R	100%	3 P	100%	2 R
21	Pierre Fiche	82 245	1 P	100%	1 P	100%	1 P
22	Saint Nazaire (étang de l'Or)	256 600	2 R	99,5%	3 P	100%	3 P
23	Benezet (étang de l'Or)	88 827	2 R	98%	3 P	100% (99%)	3 P
24	Grau du roi (Espiguette)	32 056	1 P	25%	1 P	25%	3 P
25	Tour Carbonniere	322 448	6 R	100%	-	-	6 R
26	Mahistre et Musette	243 083	3 P	29%	3 P	29%	4 R
27	Canavérier	1 582 005	2 R	100%	3 P	100%	2 R
28	Bouvau (Scamandre)	370 973	4 R	100%	5 P	100%	4 R
29	Gargattes	847 744	4 R	100%	5 P	100%	4 R

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF <span style="color:red">■</span>	③ + 0.8 m NGF <span style="color:orange">■</span>	⑤ + 1.2 m NGF <span style="color:yellow">■</span>
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF <span style="color:orange">■</span>	④ + 1.1 m NGF <span style="color:yellow">■</span>	⑥ + 1.5 m NGF <span style="color:green">■</span>
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF <span style="color:cyan">■</span>	⑧ + 2.40 m NGF <span style="color:blue">■</span>	⑨ + 2.80 m NGF <span style="color:blue">■</span>

Illustration 64. Tableau des critères d'analyse de la vulnérabilité des roselières d'Occitanie face à la submersion marine. Au numéro du scénario, est associé pour rappel le type de submersion : P pour Permanent, R pour récurrent et E pour Exceptionnel.

Le premier constat ressortant de l'analyse de ce tableau est que 50 % (16) des roselières de l'étude seront déjà impactées à l'échéance 2030-2050 : 9 de manière permanente (une grande partie de l'année) et 7 de manière récurrente, correspondant à une élévation du niveau de la mer entre +40 cm et +70 cm NGF. Sans surprise, l'illustration 65 montre que les roselières les premières concernées sont majoritairement situées au plus proche des côtes ou du rivage des lagunes.

Parmi les roselières déjà touchées de manière permanente dès 2030-2050, 4 le sont plus particulièrement, entre 50 % et 100 % de leur surface totale : Bagnas (50 %), Grande Palude (100 %), Bentenac (52 %) et Pierre Fiche (100 %).

Certaines ne sont jamais impactées de manière permanente : La Matte, l'Estagnol et La Tour Carbonnière. Une seule roselière, celle de Capestang, n'est atteinte par aucun des scénarios analysés, en raison de son éloignement important et de l'absence de communication avec la mer ou les lagunes.

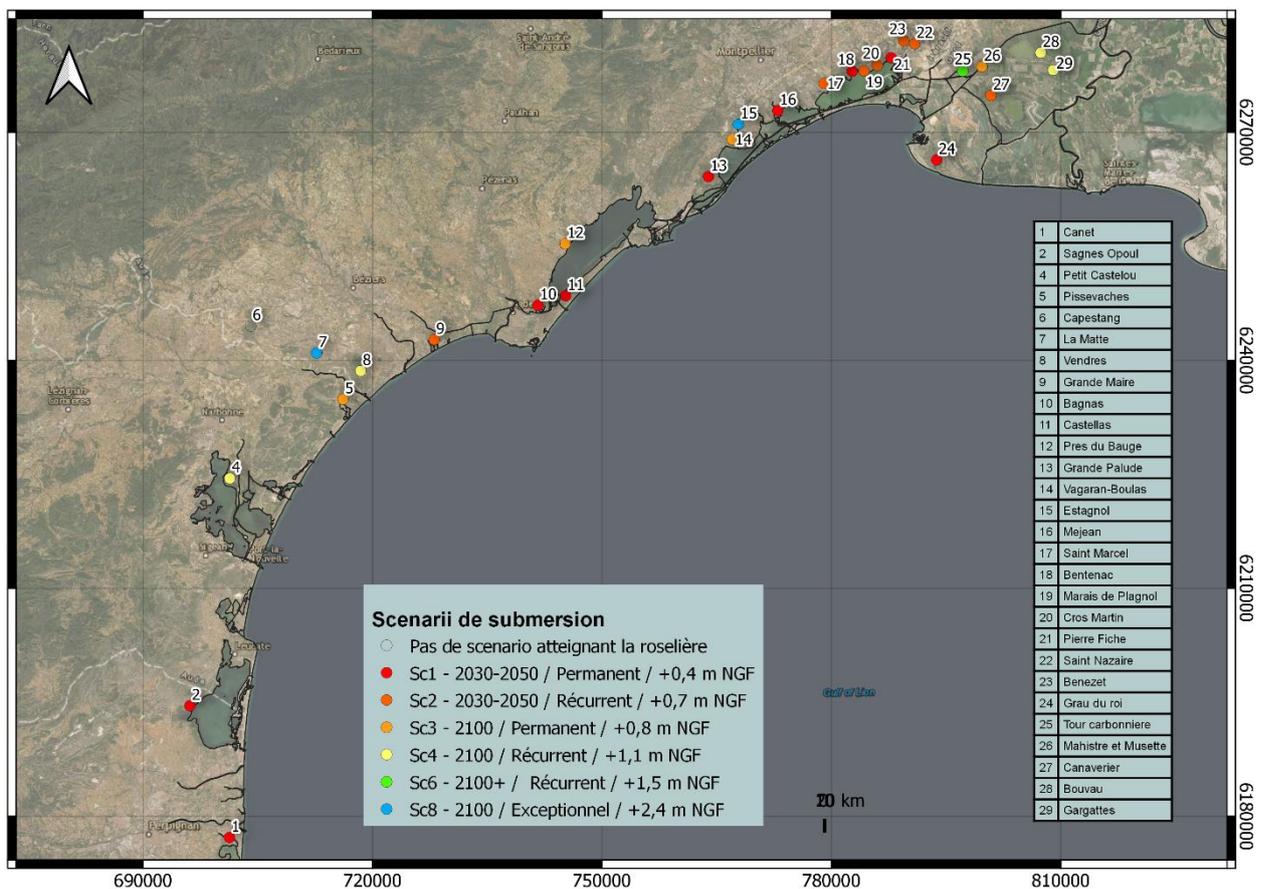


Illustration 65. Vue régionale des premiers scénarios de submersion atteignant les roselières d'occitanie.



## 5. Synthèse globale

Les roselières, du fait de leur proximité avec les lagunes et la mer présentent une sensibilité forte aux phénomènes de salinisation. Des phénomènes d'intrusion directe d'eau saumâtre ou salée sont observés (transfert via le réseau de surface, intrusion directe lors des périodes de tempêtes, submersion marine ...) mais aussi des transferts plus inertiels, avec l'eau salée qui transite par les nappes. Ces circulations sont pilotées par les phénomènes de densité (en lien avec le biseau salé). C'est ce qui a été montré dans les parties précédentes.

Aussi, en contexte de changement climatique les phénomènes de salinisation risquent potentiellement de s'amplifier. En effet, deux phénomènes prépondérant semblent être associés au changement climatique.

En contexte de changement climatique les phénomènes de salinisation vont s'amplifier sous l'effet de deux phénomènes principaux :

- l'augmentation du niveau de la mer ;
- l'augmentation de la submersion pour des événements de tempête de même intensité, conséquence directe de l'augmentation du niveau de la mer.

Au stade des connaissances et des observations actuelles, l'accroissement des phénomènes extrêmes (type tempête), avec une augmentation de leur fréquence et intensité, n'est pas avéré. Mais il s'agit d'une hypothèse à prendre potentiellement en compte.

Concernant le premier phénomène, l'augmentation du niveau de la mer et donc de celui des lagunes, devrait conduire à une augmentation de la salinisation de la nappe (augmentation du gradient hydraulique de l'eau salée), mais aussi de l'intrusion directe d'eau salée dans les réseaux hydrographiques connectés aux roselières. À terme les roselières seront plus salées.

Pour le second phénomène en lien avec les tempêtes, des exemples de rupture de cordon argileux ont déjà été observés (lagune du Méjean notamment). Ces phénomènes transforment de façon quasi instantané les milieux qui peuvent se saliniser et devenir impropres au développement de la roselière. Aussi de façon plus globale, on peut penser que l'amplification de ces phénomènes pourrait submerger plus régulièrement les zones humides sur de plus grandes surfaces (plus à l'intérieur des terres). Ceci se traduirait par un apport important d'eau de mer, conduisant à une salinisation des milieux. À terme, les roselières devraient être impactées.

Dans ce cadre, du fait de leur proximité avec la mer ou les lagunes, la quasi-totalité des roselières expertisées présente une vulnérabilité importante au changement climatique à plus ou moins brève échéance. Mais déjà d'ici 2030-2050, près de la moitié sera impactée de manière permanente ou récurrente. L'approche proposée ici concernant la submersion est une vision statique et tend donc à maximiser les impacts. Mais notons cependant, que les niveaux marins atteints actuellement de manière transitoire pendant certaines tempêtes dépassent déjà les niveaux des deux premiers scénarios ; et des protections naturelles (cordons argileux) peuvent être mis à mal durant ces épisodes entraînant actuellement des impacts (cas de la Roselière du Méjean).

Enfin, l'analyse réalisée sur le comportement actuel des roselières montre que le maintien de ces milieux pourrait se faire grâce à une adaptation de la gestion des ressources en eau, avec notamment le maintien d'une lentille d'eau faiblement minéralisée dans le plan d'eau tout au long de l'année. En effet, maintenir une colonne d'eau faiblement minéralisée permet de garder un gradient de charge hydraulique dans la roselière et ainsi maintenir plus en profondeur la nappe d'eau salée. Une gestion de la ressource en eau, lorsque cela est possible (ressource suffisante) pourrait ainsi réduire la vulnérabilité de la roselière au changement climatique.



## 6. Proposition de mise en place d'un observatoire de la salinité au sein des roselières

Les études précédemment réalisées montrent que le changement climatique va impacter le secteur côtier et engendrer une augmentation de la salinisation sur de nombreux secteurs. Afin de suivre ces évolutions, il est proposé de mettre en place un observatoire de la salinité au sein des roselières. L'objectif est de suivre les phénomènes de salinisation sur du moyen / long terme sur les nappes superficielles localisées au niveau du système racinaire des roselières. Ces suivis devraient à terme apporter des outils pour la gestion, notamment hydraulique, de ces milieux.

Aussi, dans ce contexte côtier, la salinisation présente deux temporalités : une événementielle et une plus inertielle. Le suivi devra donc suivre ces deux échelles de temps. C'est pourquoi nous préconisons la mise en place d'un réseau piézométrique de surveillance pérenne avec un suivi au pas de temps fin. Le pas de temps horaire est adapté au suivi des phénomènes de crues et tempêtes qui pilotent la recharge et les échanges au sein de ces milieux. La mesure en continue des niveaux et la conductivité électrique au pas de temps horaire des nappes superficielles permettra d'assurer ce suivi.

### 6.1. INSTRUMENTATION

Il est ainsi proposé dans un premier temps de réaliser un suivi sur six sites pilotes afin de tester le protocole expérimental proposé. Les sites retenus sont :

- roselière des Sagnes d'Opoul – compartiment Sud ;
- roselière des Sagnes d'Opoul – compartiment Nord ;
- roselière du petit Castelou ;
- roselière du Près du Baugé ;
- roselière du Méjean ;
- roselière du Scamandre.

Ce réseau sera ainsi constitué de six sites pilotes chacun équipé d'un piézomètre hébergeant une sonde de mesure autonome des niveaux et de la conductivité électrique en continue (pas de temps horaire). Le piézomètre sera profond de 1 m et crépiné de -1 m à -0,5 m en lien avec le développement du système racinaire du roseau.

Les piézomètres ont été mis en place au cours du dernier trimestre 2020. Une description est proposée dans l'illustration 66. Il s'agit d'un tube PVC de diamètre 40 mm et de 2 m de long, bouché aux deux extrémités. Il est crépiné sur 50 cm sur la partie inférieure. De 50 cm à 1 m le tube est plein. La partie du tube de 1 à 2 m est gradué de 5 cm en 5 cm, cette partie restera visible une fois le piézomètre enfoncé de 1 m dans le sol de la roselière.

Lors de la mise en place, un trou est réalisé à la tarière (diamètre 100 mm), jusqu'à 1 m de profondeur. Le tube est ensuite inséré. En périphérie du tube un massif filtrant de gravier est inséré jusqu'à 50 cm de profondeur (au droit de la partie crépinée), pour permettre une bonne connexion du piézomètre avec la nappe et aussi éviter son engorgement. Ensuite, de 50 cm à la surface des granules de bentonite sont injectées. En gonflant au contact de l'eau elles assureront l'étanchéité de l'ouvrage évitant ainsi les transferts de l'eau de surface vers l'horizon capté par le piézomètre.

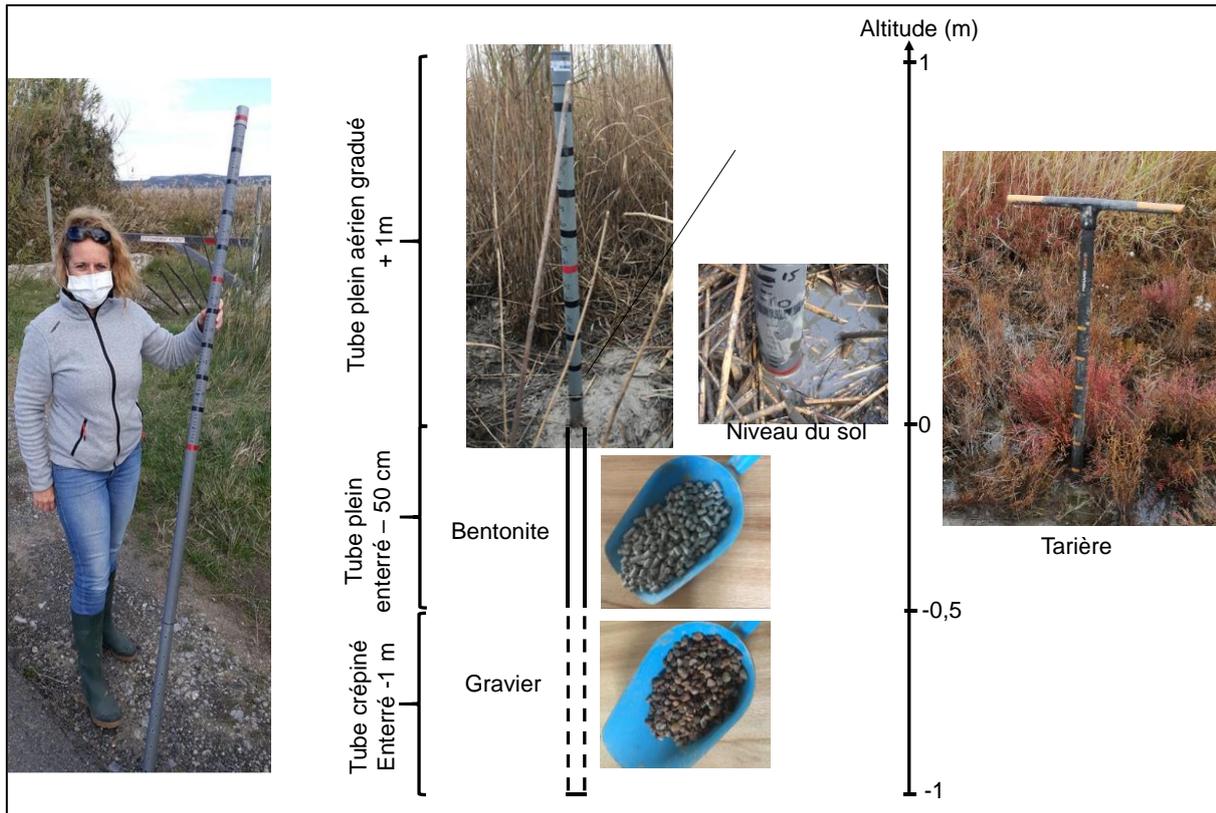


Illustration 66. Réalisation des piézomètres sur les six sites pilotes.

En complément de ce suivi en place « automatisé » il est préconisé 6 à 12 fois par an de réaliser un relevé du niveau d'eau dans la roselière au droit du piézomètre (facilement réalisable grâce à la graduation de la partie aérienne du piézomètre). À cette occasion, la conductivité électrique de l'eau de surface sera notée. Ce suivi ponctuel complémentaire sera utile à l'interprétation des chroniques de suivi en continu réalisées sur la nappe superficielle.

Enfin, lors du suivi nous recommandons d'éviter un passage trop fréquent et également de « piétiner » autour du piézomètre afin d'éviter un tassement du sol à proximité.

## 6.2. EXTENSION DU RÉSEAU

Une première interprétation des chroniques acquises sur les six sites pilotes sera réalisée fin 2021. Au vu des résultats de ces analyses, le suivi pourra être étendu en l'état ou adapté aux autres roselières. L'objectif à terme, est de disposer d'un réseau régional du suivi de la salinisation des roselières de l'Occitanie.

## 6.3. SUIVI COMPLÉMENTAIRE

Les piézomètres ont été gradués. La partie du tube hors sol mesurant 1 m, est graduée de 5 cm en 5 cm, de 0 à 1 m. Lors de leur mise en place (octobre-novembre 2020), le 0 du tube correspondait au niveau du sol. Il est ainsi préconisé de suivre l'atterrissement potentiel au niveau des piézomètres. En effet, ces zones humides peuvent être soumises à un engorgement progressif. Dans le contexte actuel de changement climatique associé à une élévation du niveau de la mer, il est indispensable de suivre les évolutions topographiques potentielles. À nouveau ce suivi doit se faire sur du moyen – long terme, un relevé annuel du niveau du sol est ainsi préconisé.

## 7. Conclusions

Les 29 roselières intégrées à cette étude sont quasiment toutes marquées par la présence de sel. L'expertise hydrogéologique réalisée sur chacune des roselières a permis d'appréhender les origines probables de la salinité sur les différents sites. Il ressort ainsi, qu'en domaine côtier de nombreuses roselières présentent des teneurs en sel résiduelles importantes héritées notamment des anciennes activités ou gestion anthropiques sur les sites (nombreuses anciennes zones de salines notamment). Aussi, la proximité avec les lagunes salées et la mer favorise-t-elle les échanges directs « évènementiels » avec ces milieux, notamment lors des périodes de tempête (submersion marine, intrusion d'eau salée via les réseaux de surface etc.). Enfin, sur une échelle de temps longue (« inertielle »), les roselières sont impactées par une salinisation souterraine via les nappes, pilotées par les phénomènes de densité et donc les gradients de charge hydraulique entre l'eau douce et l'eau salée.

La salinisation de ces milieux peut être néfaste au développement de la roselière, dès lors que les teneurs en sel sont importantes. Toutefois, des expérimentations réalisées ces dernières années dans certaines roselières à salinité importante, ont montré qu'une gestion des ressources en eau pouvait limiter l'impact négatif du sel sur l'état de la roselière. Ainsi, un apport exceptionnel d'eau faiblement minéralisée, notamment en période estivale, permettrait de limiter les intrusions salines au sein de la roselière. Cette gestion permet en effet, la conservation sur le site une lentille d'eau douce, maintenant un gradient de charge hydraulique vertical descendant au sein de la roselière, empêchant ainsi les remontées d'eau plus minéralisées. Néanmoins, cette gestion exceptionnelle nécessiterait des volumes d'eau conséquents certainement en désaccord avec les phénomènes de raréfaction de la ressource en eau.

En contexte de changement climatique les phénomènes de salinisation vont s'amplifier sous l'effet de deux phénomènes principaux :

- l'augmentation du niveau de la mer ;
- l'augmentation de la submersion pour des événements de tempête de même intensité, conséquence directe de l'augmentation du niveau de la mer.

Au stade des connaissances et des observations actuelles, l'accroissement des phénomènes extrêmes (type tempête), avec une augmentation de leur fréquence et intensité, n'est pas avéré. Mais il s'agit d'une hypothèse à prendre potentiellement en compte.

L'augmentation du niveau de la mer et donc des lagunes qui y sont très étroitement connectées, va entraîner une augmentation de la salinisation des nappes par augmentation du gradient hydraulique de l'eau salée, mais aussi par intrusion directe d'eau salée dans les réseaux hydrographiques connectant les lagunes et/ou la mer et les roselières. Les roselières s'en trouveront donc plus salées par submersion progressive mais permanente.

Les intrusions d'eau de mer par submersion pendant les tempêtes peuvent transformer radicalement l'équilibre des milieux en augmentant fortement leur salinité les rendant, pendant un certain temps, impropres au développement de la roselière et des espèces qu'elles abritent. Aussi, on peut penser qu'une augmentation de ces épisodes et des submersions associées, en fréquence et en intensité pourra à terme impacter plus fortement voire durablement les roselières.

Le travail d'analyse des scénarios de remontée du niveau de la mer aux échéances 2030-2050 et 2100 réalisé dans cette étude, selon des hypothèses conformes aux recommandations de l'État et en cohérence avec les travaux les plus récents sur le sujet, montre que la quasi-totalité des roselières expertisées présente une vulnérabilité au changement climatique à plus ou moins brève échéance. Mais déjà d'ici 2030-2050, près de la moitié sera impactée de manière permanente ou récurrente. Bien que la méthode proposée ici pour la submersion des roselières soit basée sur une approche statique et tend à maximiser les impacts, il n'en est pas moins qu'actuellement le niveau d'eau dépasse déjà pendant certaines tempêtes les niveaux des premiers scénarios projetés. Des protections naturelles sont déjà parfois mises à mal durant ces épisodes actuels, entraînant des impacts notables sur certaines roselières (cas du Méjean).

Ainsi, dans ce contexte de changement climatique, une salinisation de ces milieux est à prévoir. C'est pourquoi, afin de suivre son évolution, un réseau de suivi basé sur la mise en place de piézomètres équipés de sonde de mesure autonome de niveau et conductivité électrique au pas de temps horaire sur six sites pilotes a été proposé. Les piézomètres ont été mis en place fin 2020, les mesures devraient être opérationnelles dès le premier trimestre 2021 sur l'ensemble des sites. Ce suivi, permettra de caractériser les intrusions salines « événementielles » (associées aux phénomènes de crues et tempêtes par exemple) et également plus inertielles (intrusions salines liées aux échanges souterrains pilotés par les phénomènes de densité). À terme, ce suivi pourra être étendu à l'ensemble des roselières afin de mettre en place un observatoire régional du suivi de la salinisation des roselières d'Occitanie.

## 8. Bibliographie

- Chachadi A.G. & Lobo-Ferreira, J.P.** (2001) - Sea water intrusion vulnerability mapping of aquifers using GALDIT method. Proc. Workshop on modelling in hydrogeology, Anna University, Chennai, pp.143-156, and in COASTIN A Coastal Policy Research Newsletter, Number 4, March 2001. New Delhi, TERI, pp. 7-9.
- Bless, E., Colin, F., Crabit, A. et al.** (2018) - Landscape evolution and agricultural land salinization in coastal area: A conceptual model, *Science of the Total Environment* 625, 647–656.
- Custodio, E.** (2002) - Coastal aquifers as important natural hydrogeological structures dans Bocanegra, Martines and Massone (Editors), *Groundwater and human development*, 1905-1918.
- De Montety, V.** (2008) - Salinisation d'un aquifère captif côtier en contexte deltaïque – cas de la camargue (Delta du Rhône, France), Thèse de doctorat en Hydrogéologie, Université d'Avignon et des Pays de Vaucluse.
- DGEC – ONERC** (2010) - Prise en compte de l'élévation du niveau de la mer en vue de l'estimation des impacts du changement climatique et des mesures d'adaptation possibles, note de synthèse. Synthèse n°2 - Février 2010.
- DGPR** (2014) - Guide méthodologique – Plan de prévention des risques littoraux.
- Dörfliker, Nathalie ; Schomburgk, Susanne ; Bouzit, Madjid et al.** (2011) - Montée du niveau marin induite par le changement climatique : Conséquences sur l'intrusion saline dans les aquifères côtiers en Métropole. Rapport "final. BRGM/RP-60829-FR, 302 p., 4 ann.
- Frissant N., Bodéré G.** (2009) - Sensibilité des masses d'eau souterraine aux intrusions salines en Corse. Inventaire des forages et puits publics destinés à l'AEP sensibles. Rapport BRGM/RP-56165-FR, 249 p. 30ill., 1ann. (Rapport BRGM).
- Kloppmann, W., Bourhane, A., Schomburgk et al.** (2011) - Salinisation des masses d'eaux en France : du co,stat au diagnostic. Rapport BRGM/RP-59496-FR.
- Herzberg, A.** (1901) - Die wasserversorgung einiger nordseebäder. *Jour. Gasbeleuchtung und Wasserversorgung*, 44: 815–819, 842–844.
- Nicolae-Lerma, Alexandre ; Pedreros, Rodrigo ; Balouin, Yann et al.** (2017) - Cinétique de la submersion marine: Comparaison des méthodes de détermination de la submersion marine par modélisation numérique. Rapport final. BRGM/RP-67361-FR, 74 p., 1 ann.
- Poulin B., Lefebvre G. & Mauchamp, A.** (2002) - Habitat requirements of passerines and reedbed management in southern France. *Biological Conservation*, 107 : 315-325p.
- Serrand, Maud ; Vinchon, Charlotte ; Garcin, Manuel** (2013) - MISEEVA Méthodologie d'évaluation de la vulnérabilité de la zone côtière Languedoc-Roussillon face à la submersion marine. Rapport final Elaboration d'indicateurs de vulnérabilité socio-économiques et environnementaux. BRGM/RP-60980-FR, 160 p., 11 ann.
- Zhang W, Qi J, Wan P, Wang H et al.** (2016) - An Easy-to-Use Airborne LiDAR Data Filtering Method Based on Cloth Simulation. *Remote Sensing* ; 8(6):501.

## Bibliographie du rapport BRGM/RP-60829-FR

**Aunay B., Dörfliker N., Duvail C. et al.** (2006) - A multidisciplinary approach for assessing the risk of seawater intrusion in coastal aquifers: the case of the Roussillon Basin (France). International symposium - Aquifers Systems Management - 30 may-1th june 2006, Dijon, France.

**Aunay, B.** (2007) - Apport de la stratigraphie séquentielle à la gestion et à la modélisation des ressources en eau des aquifères côtiers. Thèse de Doctorat en Hydrogéologie, Université Montpellier 2.

**Astier, A., Delmas J.P.** (1999) - Nappes aquifères du littoral méditerranéen dans la région Languedoc-Roussillon. Etude préliminaire. Estimation provisoire de leur extension et de leur possibilité d'utilisation. Rapport DATAR/CTE Languedoc.

**Auroux F.** (1992) - Modèle mathématique de gestion de l'aquifère plio-quaternaire du Roussillon. Modélisation mathématique des risques d'intrusion marine dans l'aquifère plio-quaternaire. Rapport BRGM R 34981 LRO 45 92.

**Auroux F.** (1995) - Modélisation du système aquifère multicouche du Roussillon. Vadémécum pour la mise en œuvre de nouvelles simulations. Rapport ANTEA A 02708.

**Auroux F.** (1995) - Simulations d'exploitation complémentaire de l'aquifère multicouche du Roussillon pour assurer les besoins en eau à l'horizon 2010. Rapport BRGM N 1878.

**Caballero, Y. ; Marchal, JP.** (2008) - Bassin d'alimentation et contexte hydrogéologique du captage du Val Auger, Banyuls-sur-Mer (66). BRGM/RP-56516-FR, 62 pages, 22 illustrations.3 annexes.

**Debuissou, J., Lemaire, B., Paloc, H.** (1966) - Les sources littorales et sous-marines du Languedoc-Roussillon. Etude documentaire préliminaire. Rapport BRGM DS.66.A63 de juin 1966. (RT8).

**Fleury, P., Bakalowicz, M., de Marsily, G.** (2007) - Submarine springs and coastal karst aquifers: A review, Journal of Hydrology, Volume 339, Issues 1-2, Pages 79-92, ISSN 0022-1694, DOI: 10.1016/j.jhydrol.2007.03.009.

**Marchai, J.P., Camus, A., Viala, J.P.** (1987) - Surveillance de la qualité chimique des eaux souterraines dans la zone littorale du Languedoc-Roussillon. Rapport BRGM 87 LRO 688 PR du 19 mars 1987.

**Marchai J.P., Chery L.** (1995) - Contamination marine de l'aquifères plio-quaternaire du Roussillon (Pyrénées-Orientales) Rapport BRGM : R38604.

**Marchal J.P., Camus A.** (1984) - Surveillance de la qualité chimique des eaux souterraines dans la zone littorale du Languedoc-Roussillon. Secteur compris entre l'embouchure de l'Aude et le Grau-du-Roi. Observations effectuées en 1983. Rapport BRGM 77 84 A.

**Marchal J.P., Camus A., Renault P. et al.** (1977) - Examen de l'état actuel de la contamination par le sel marin des réservoirs aquifères littoraux à nappe libre de la région Languedoc-Roussillon. Synthèse des résultats d'une enquête documentaire.

**Santamaría L.** (1995) - Etude des caractéristiques des eaux souterraines et de ses relations avec l'étang de l'OR. DEA. Univ. de Montpellier, encadrement BRGM/Conservatoire du Littoral/DIREN.

**SOGREAH** (1962) - Basses plaines Orb-Hérault. Etude hydrogéologique.

## **Annexe 1**

### **Méthode GALDIT**



Une indexation de la vulnérabilité et une classification des potentialités d'une intrusion saline dans un contexte géologique donné sont établis à partir des six paramètres de GALDIT.

Le principe d'attribution de classe de vulnérabilité repose sur trois composantes :

- **Pondération** : un poids est attribué à chacun des six paramètres en considération son importance relative par rapport à l'intrusion saline. Un poids allant typiquement de 1 (influence faible moindre) à 4 (grande influence) est proposé par les auteurs.
- **Notation** (ou rang) : une valeur de 1 à 10 est attribuée à chaque paramètre en fonction de ses attributs (plus la valeur est importante plus la vulnérabilité est grande). Par exemple, les valeurs attribuées sont obtenues à partir de tables de correspondance entre les caractéristiques hydrogéologiques locales et la valeur du paramètre.
- **Classification** : la classification des aquifères côtiers par rapport à l'intrusion saline est déterminée par un indice de vulnérabilité final correspondant à la somme pondérée et normée des notes de rang attribuées aux six paramètres GALDIT, selon la formule suivante :

$$indice\_GALDIT = \frac{\sum_{i=1}^6 p_i R_i}{\sum_{i=1}^6 p_i}$$

Où  $p_i$  est le poids accordé (1 à 4) à chaque paramètre  $i$   
 $R_i$  est le rang ou la notation accordée à chaque paramètre (2.5 à 10)

Les poids ( $p_i$ ) et les notations ( $R_i$ ) des attributs des six paramètres de la méthode GALDIT par rapport à l'intrusion saline sont décrits ci-dessous :

### **Paramètre G** (type d'aquifère)

Dans le contexte naturel, les eaux souterraines prennent place généralement au sein de formations géologiques qui donnent naissance à des aquifères libres, captifs ou semi-captifs. Le contexte géologique des aquifères côtiers (géométrie, organisation des formations perméables et imperméables) a une influence indéniable sur la présence et sur l'extension d'une intrusion saline. En général, la valeur du paramètre G est attribuée sur la base suivante :

Paramètre G	Poids	Attributs du paramètre	Valeur rang
Type d'aquifère	1	Aquifère captif	10
		Aquifère libre	7.5
		semi-captif	5
		Aquifère contraint <sup>(1)</sup>	2.5
<sup>(1)</sup> Recharge et/ou barrière alignée parallèlement à la côte			

Ainsi, un aquifère libre, en conditions naturelles serait plus affecté par une intrusion saline qu'un aquifère captif, ce dernier étant sous une pression plus grande qu'uniquement la pression atmosphérique. De même, un aquifère captif est plus sujet à l'intrusion saline en comparaison d'un aquifère semi-captif, la semi-captivité maintenant la pression hydraulique au minimum, à cause des pertes associées à des aquifères adjacents. L'aquifère captif est plus vulnérable du fait de l'existence de cônes de dépression plus grands et de l'expulsion immédiate d'eau des puits lors des pompages ; dans ce cas la valeur du rang est le plus élevée (10).

Dans le cas d'un système aquifère multicouche, la valeur la plus importante devrait être adoptée (note de 10). Ainsi, lors de l'attribution des poids relatifs au paramètre G, il est important d'examiner avec attention la position et le type d'aquifères présents dans la zone d'étude.

### **Paramètre A** (conductivité hydraulique de l'aquifère)

Le paramètre A est utilisé pour déterminer la vitesse d'écoulement de l'eau au sein de l'aquifère. Par définition, la conductivité hydraulique traduit l'aptitude du milieu à transmettre l'eau au sein de l'aquifère. La conductivité hydraulique résulte de l'inter-connectivité des pores dans les sédiments non consolidés et des fractures pour les milieux consolidés. L'importance du front d'intrusion saline est influencé par la conductivité hydraulique – plus la conductivité est grande, plus le front de pénétration de l'intrusion saline est important. Une conductivité hydraulique faible a pour conséquence également un grand cône de dépression lors d'un pompage pour un débit donné, par rapport à un aquifère caractérisé par une conductivité hydraulique élevée. Ainsi, il est aussi nécessaire de prendre en considération la présence de barrières hydrauliques telles que des niveaux argileux et des dykes imperméables parallèles à la côte, qui peuvent constituer des obstacles à l'intrusion saline. Des valeurs caractéristiques pour le paramètre L sont données ci-dessous.

Paramètre A	Poids	Attributs du paramètre		Note
		Classe	Rang	
conductivité hydraulique de l'aquifère	3	Elevée	> 40	10
		Moyenne	10 – 40	7.5
		Faible	5 – 10	5
		Très faible	< 5	2.5

Pour les aquifères karstiques côtiers, une description spéciale de la valeur de l'indice pour ce facteur devrait être développée, prenant en considération les discontinuités, la présence de phénomènes morphologiques de l'endo et l'exokarst qui peut constituer des chemins préférentiels pour l'intrusion saline.

### **Paramètre L** (Profondeur de la nappe par rapport au niveau de la mer)

Le niveau piézométrique par rapport au niveau moyen de la mer est un paramètre important (poids maximal de 4) pour évaluer la vulnérabilité à l'intrusion saline dans une zone donnée, car il détermine le potentiel hydraulique capable de repousser le front d'intrusion saline. Tel que défini par l'équation de Ghyben-Herzberg, pour chaque mètre d'eau douce stockée au-dessus du niveau de la mer, ce sont 40 mètres d'eau douce qui sont présents sous l'interface eau douce eau salée ainsi définie. L'attribution des notes du paramètre L doit prendre en considération les variations du niveau piézométrique sur le long terme. De manière générale, il est important de ne pas considérer uniquement une valeur piézométrique moyenne, mais d'examiner avec attention les périodes pour lesquelles le niveau piézométrique est le plus bas, au-dessus du niveau de la mer, correspondant à la plus grande vulnérabilité potentielle. Pour l'attribution des valeurs, les auteurs proposent la notation suivante.

Paramètre L	Poids	Attributs du paramètre		Note
		Classe	Rang (m)	
Hauteur à la nappe par rapport au niveau de la mer (m)	4	Elevée	< 1.0	10
		Moyenne	1.0 – 1.5	7.5
		Faible	1.5 – 2.0	5
		Très faible	> 2.5	2.5

**Paramètre D** (distance perpendiculaire à la côte)

La distance de l'aquifère par rapport à la mer est aussi un critère important de la vulnérabilité (poids maximal de 4). En général, l'impact de l'intrusion saline décroît en s'éloignant de la côte. La valeur maximale de l'indice peut être fixée à 10 pour des distances à la côte inférieures à 500 m. Cette valeur est dégressive. Une valeur de 2.5 est acceptable pour des distances supérieures à 1000 m.

Paramètre D	Poids	Attributs du paramètre		note
		Classe	Rang (m)	
Distance par rapport à la côte (m)	4	Très courte	< 500	10
		Courte	500 – 750	7.5
		Moyenne	750 – 1000	5
		Eloignée	> 1000	2.5

Il faut noter que ce paramètre doit être pris en considération avec prudence dans le cas d'aquifères karstiques côtiers; l'intrusion saline dépend de la présence de conduits karstiques. Ce paramètre n'est peut-être pas directement transposable pour ce type d'aquifère.

**Paramètre I** (impact de l'état actuel de l'intrusion saline de la zone concernée)

La zone d'étude considérée peut être plus ou moins déjà affectée par une intrusion saline et l'équilibre hydraulique naturel entre l'eau douce et l'eau salée peut être ainsi déjà modifié. Cet état doit être pris en compte lors de la cartographie de la vulnérabilité à l'intrusion saline. Dans cette méthode, il est proposé d'utiliser le ratio  $Cl^- / (HCO_3^{-1} + CO_3^{2-})$  comme critère d'évaluation de l'intrusion saline dans l'aquifère côtier. L'ion chlorure ( $Cl^-$ ) est dominant dans l'eau de mer et peu présent dans les eaux souterraines alors que c'est l'inverse pour le bicarbonate ( $HCO_3^{-1} + CO_3^{2-}$ ). Si le ratio est supérieur à 2 ppm (ou milliéquivalent par million), une note maximale de 10 est attribuée au paramètre I. Un ratio inférieur à 1 montre que l'intrusion saline est très faible.

Paramètre I	Poids	Attributs du paramètre		Note
		Classe	Rang (ppm)	
Impact de l'état actuel de l'intrusion saline de la zone d'étude : $Cl^- / (HCO_3^{-1} + CO_3^{2-})$	1	Elevé	> 2	10
		Moyen	1.5 – 2	7.5
		Faible	1 – 1.5	5
		Très faible	< 1	2.5

Le ratio chlorure/Bicarbonate peut-être utilisé uniquement si des données chimiques des eaux souterraines sont disponibles. Des logs de température et de conductivité électrique au niveau de forages situés dans la zone côtière de l'aquifère permettent également de déterminer la variabilité spatiale de l'intrusion saline, les variations saisonnières ainsi que la distribution verticale. Ce type de mesures avec une représentation cartographique peut permettre également de distinguer des classes d'indice en fonction des ordres de grandeurs de la conductivité électrique.

### **Paramètre T** (épaisseur de l'aquifère)

L'épaisseur de l'aquifère ou de la zone saturée d'un aquifère libre joue un rôle important dans l'extension et l'ampleur de l'intrusion saline en zones côtières. Il a été clairement démontré que plus l'épaisseur de l'aquifère est importante, plus l'extension de l'intrusion saline devrait être importante et inversement. Suivant ce principe, des valeurs de rang correspondantes à différentes épaisseurs d'aquifère sont attribuées comme suit :

Paramètre T	Poids	Attributs du paramètre		Note
		Classe	Rang	
Epaisseur de l'aquifère (m)	2	Large	> 10	10
		Moyenne	7.5 – 10	7.5
		Petite	5 - 7.5	5
		Très petite	< 5	2.5

Ce paramètre peut être utilisé pour les aquifères karstiques côtiers, pour autant que l'information géologique relative à la géométrie de l'aquifère est disponible. La variation de l'épaisseur de l'aquifère peut être directement lié au gradient hydraulique. Celui-ci peut être variable au sein d'un aquifère karstique en fonction de la présence d'hétérogénéités (par exemple présence de cavités ou de conduits dans la zone saturée) plus importantes à proximité de la côte.

Paramètres	Poids	Rangs			
		Très faible	faible	Moyen	Elevé
		<b>2.5</b>	<b>5</b>	<b>7.5</b>	<b>10</b>
G : Type d'aquifère	<b>1</b>	contraint	semi-captif	libre	captif
A : conductivité hydraulique (m/jour)	<b>3</b>	< 5	5 - 10	10-40	> 40
L : Profondeur de la nappe / niveau de la mer (m)	<b>4</b>	>2.5	1.5 – 2	1 – 1.5	<1
D : Distance de la côte (m)	<b>2</b>	> 1000	750-1000	500-750	< 500
I : Impact de l'intrusion saline (ppm)	<b>1</b>	< 1	1 – 1.5	1.5 - 2	> 2
T : Epaisseur de l'aquifère (m)	<b>2</b>	< 5	5 – 7.5	7.5-10	> 10

*Illustration 67. Tableau de synthèse des poids et rang de la méthode GALDIT.*

Considérant les poids et les notes proposés ci-dessus (Illustration 67), la valeur minimale de l'indice GALDIT est de 2.5 et la valeur maximale de 10. La vulnérabilité d'un aquifère côtier par rapport à l'intrusion saline peut être répartie en 3 classes de vulnérabilité :

Classe de vulnérabilité	Indice GALDIT
Vulnérabilité forte	> 7.5
Vulnérabilité moyenne	5 – 7.5
Vulnérabilité faible	< 5

## **Annexe 2**

# **Résultats de la cartographie des scénarios de submersion sur les roselières**



La présente annexe rassemble les résultats cartographiques des scénarios de submersion appliqués pour chaque roselière étudiée dans le cadre de ce projet.

Le tableau suivant indique les codes couleur permettant de lire les différentes cartes établies.

	2030-2050	2100	2100 +
Scénario permanent	① + 0.4 m NGF <span style="color: red;">■</span>	③ + 0.8 m NGF <span style="color: orange;">■</span>	⑤ + 1.2 m NGF <span style="color: yellow;">■</span>
Scénario récurrent	② + 0.7 m NGF <span style="color: orange;">■</span>	④ + 1.1 m NGF <span style="color: yellow;">■</span>	⑥ + 1.5 m NGF <span style="color: green;">■</span>
Scénario exceptionnel	⑦ + 2.00 m NGF <span style="color: cyan;">■</span>	⑧ +2.40 m NGF <span style="color: blue;">■</span>	⑨ +2.80 m NGF <span style="color: blue;">■</span>

La représentation choisie permet de visualiser sur chacune des roselières la progression de la submersion (en termes de niveau maximal atteint) en fonction des scénarios et, en particulier, quel est le premier pour lequel la roselière sera touchée.



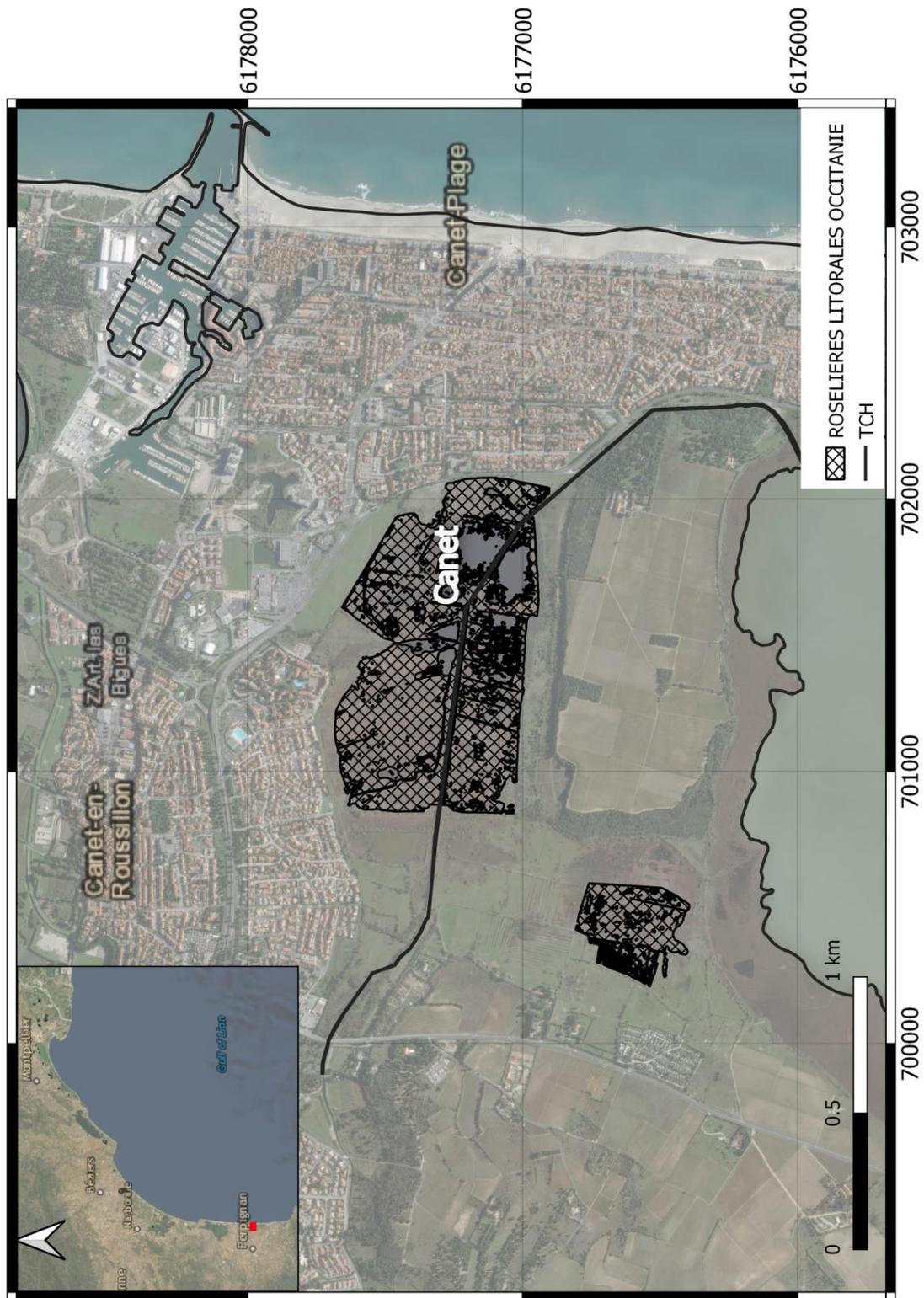
Ces figures se lisent ainsi de gauche à droite et de haut en bas.

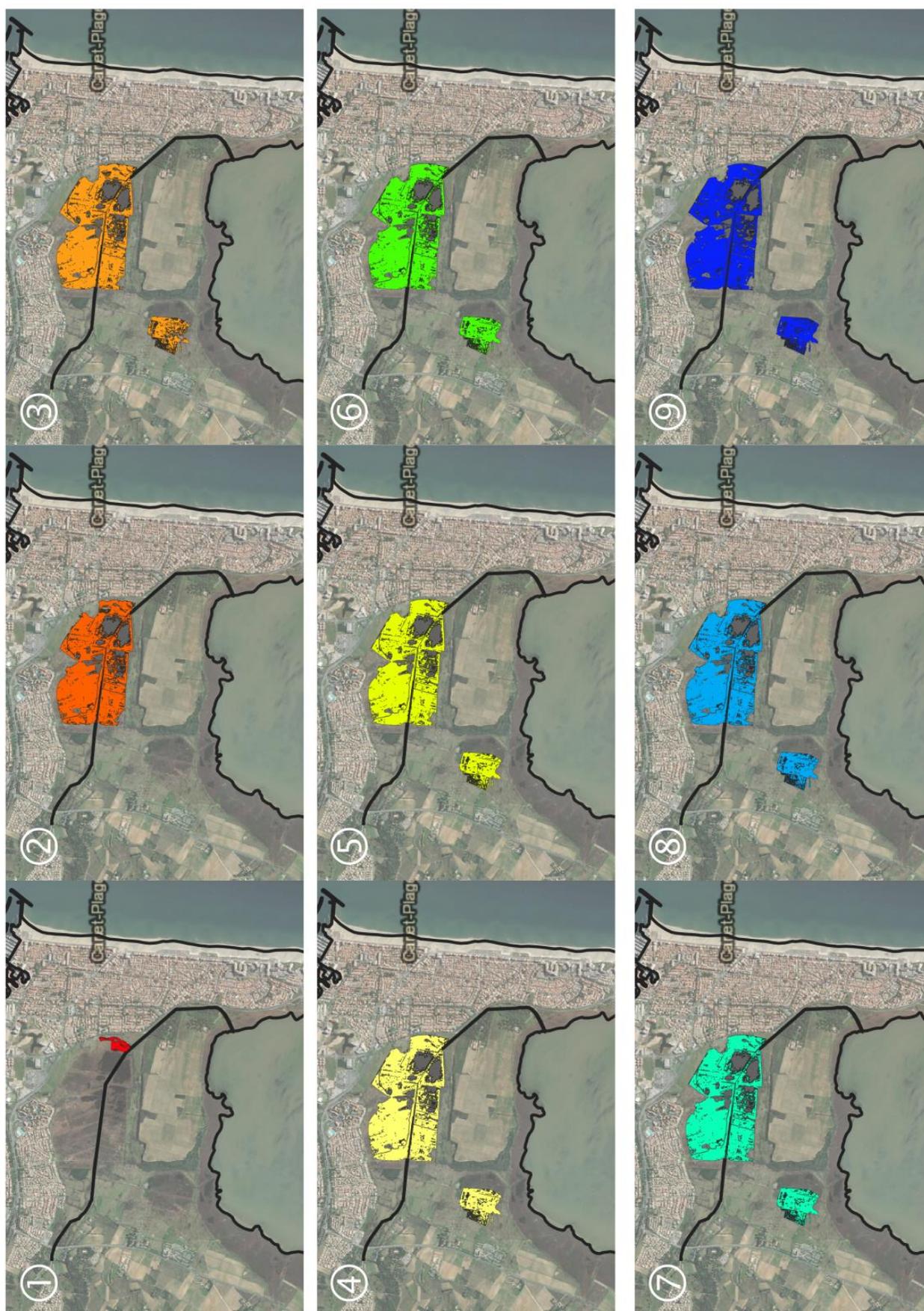
Le trait de côte figuré sur les cartes est le Trait de côte HISTOLITT® (TCH), auquel on a rajouté pour le compléter, le tracé de la Bouffie sur l'étang de l'Estagnol et la digitalisation du tracé des Llobères sur l'étang de Canet. Ces tracés complémentaires ont été utilisés afin de prendre en compte au plus près de la réalité les connections actuelles de ces roselières avec le trait de côte (avec la mer et/ou les lagunes).

<sup>9</sup> HISTOLITT® : ce trait de côte est une coproduction du Shom et de l'IGN. Il est composé d'éléments issus de la numérisation des cartes marines aux échelles supérieures au 1/25000. Dans certaines zones portuaires, des cartes aux échelles du 1/5000 ont été utilisées, d'éléments de la classe [tronçon de laisse] du produit BDTPOPO® et d'éléments saisis en 2D sur fond image BDORTHO®. Le trait de côte correspond à la laisse des plus hautes mers dans le cas d'une marée astronomique de coefficient 120 et dans des conditions météorologiques normales (pas de vent du large, pas de dépression atmosphérique susceptible d'élever le niveau de la mer). Le produit TCH modélise cette entité théorique par un ensemble de polygones 2D.



**N°1 - Canet – St-Nazaire**



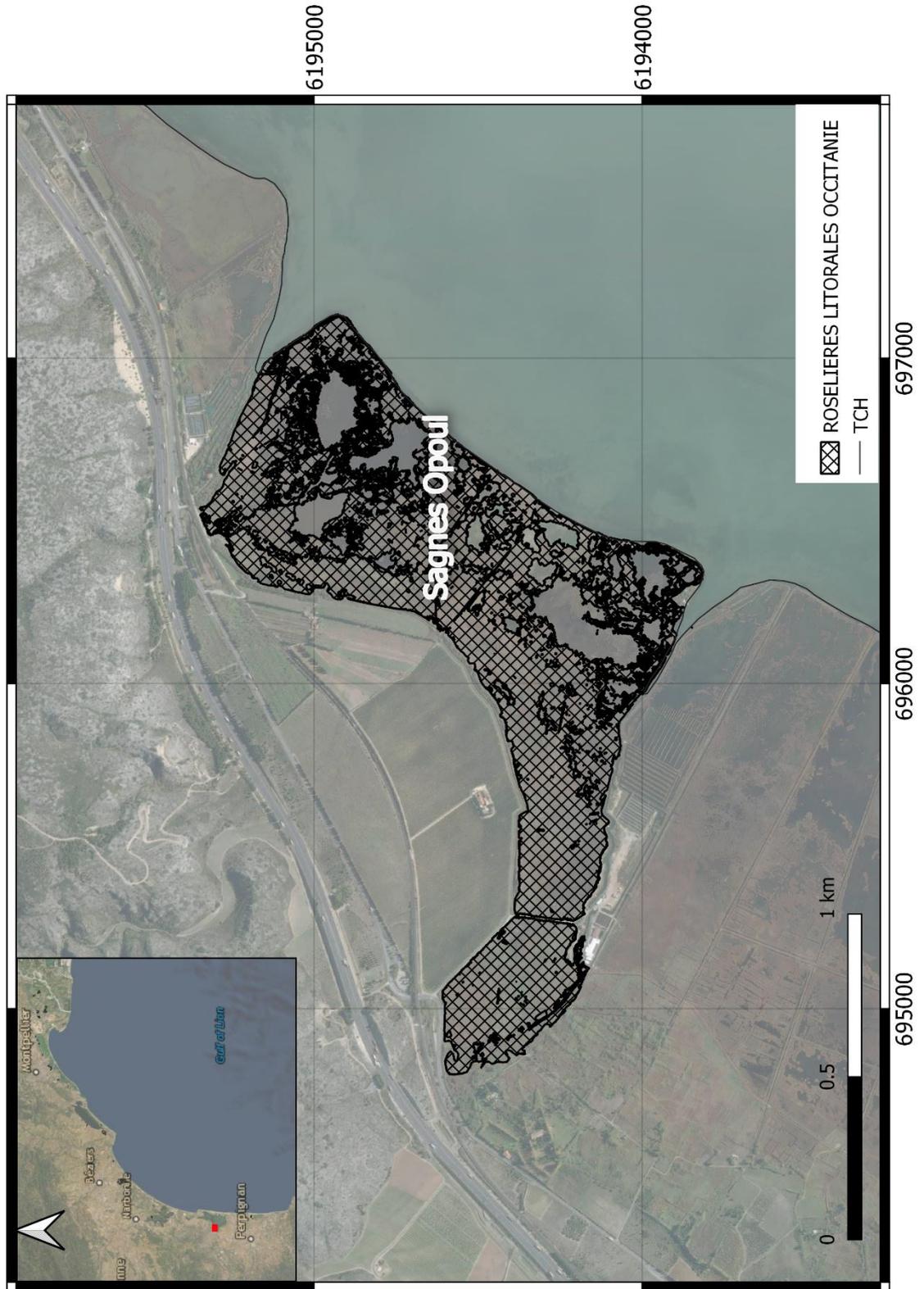


**Roselière de Canet – St-Nazaire - Evolution de la submersion :**

La première submersion est observée pour le scénario permanent 2030-2050 (① +0,4 m NGF) sur une surface assez réduite (3%) à l'est de la roselière. Pour cette même échéance, un événement récurrent (② +0,7 m NGF) suffit à en recouvrir la quasi-totalité (83%) à l'exception de la partie sud-ouest séparée de la roselière principale. La roselière sera recouverte de manière permanente à 98 % pour le scénario permanent 2100 (③ +0,8 m NGF) et dans sa totalité pour un événement récurrent à cette même échéance (④ +1.1 m NGF).



**N°2 - Sagne d'Opoule**



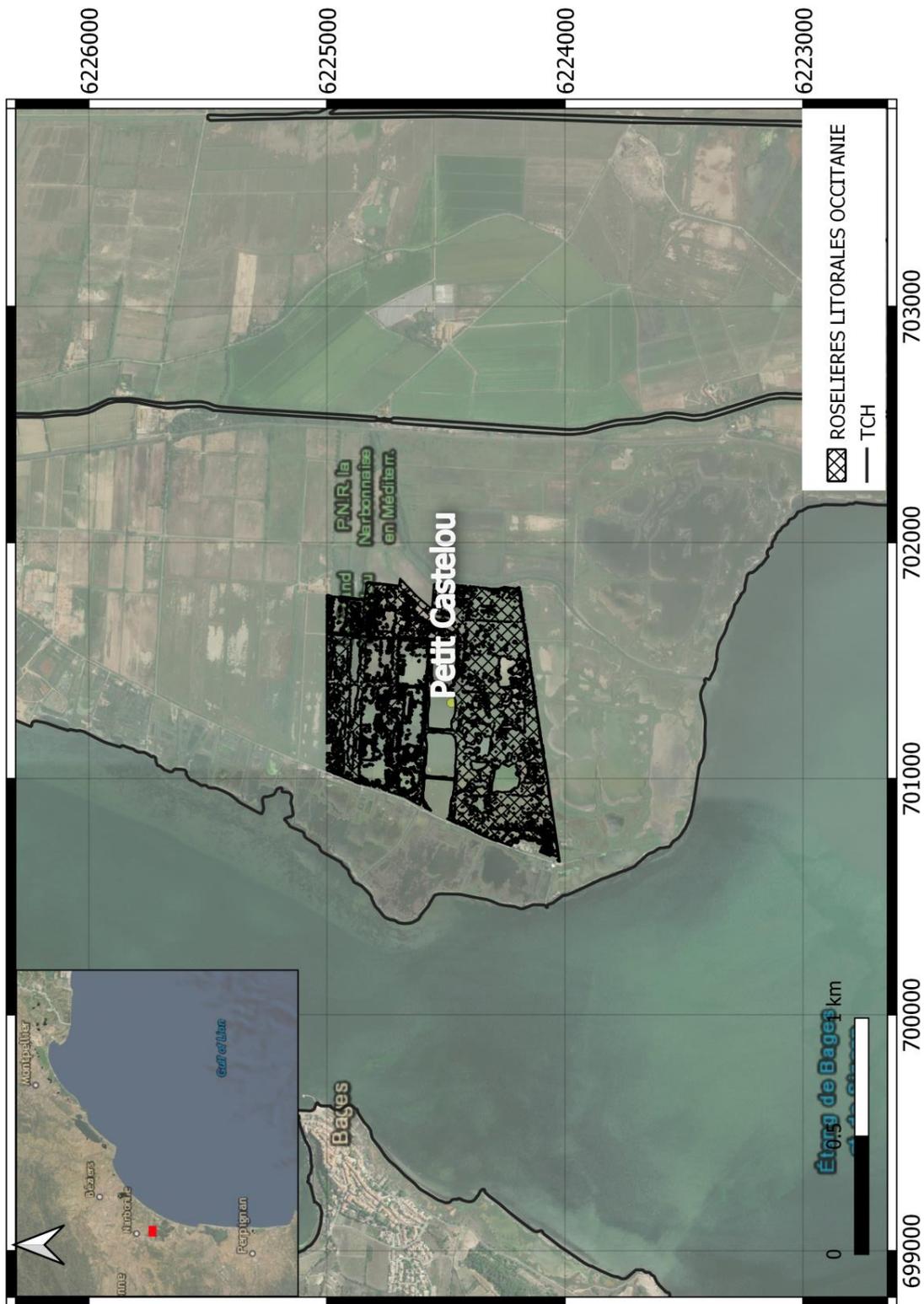


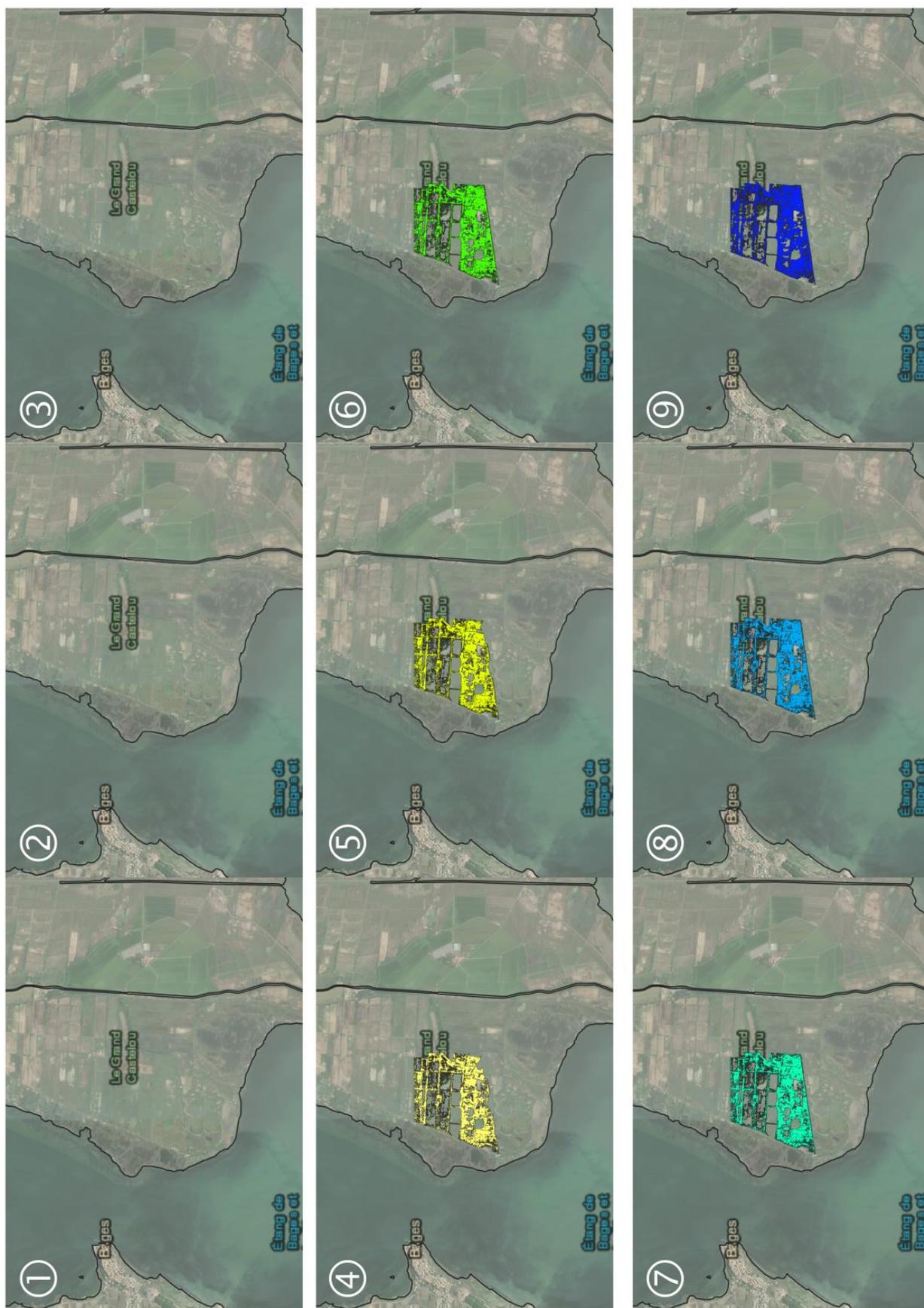
**Roselière Sagne d'Opoule - Evolution de la submersion :**

La première submersion à atteindre la roselière est celle du scénario ① 2030-2050 (+0,4 m NGF). Il s'agit d'une submersion permanente et à ce stade la roselière est recouverte à 42%. Le scénario permanent ③ 2100 (+0,8 m NGF) la recouvre à 82,5% et le scénario permanent ⑤ 2100<sup>+</sup> (+1,2 m NGF) à 89%. La roselière est submergée à 100% de sa surface pour le scénario ⑦ 2030-2050 exceptionnel (+2 m NGF).



**N°4 - Petit Castelou (Marais du Narbonnais)**



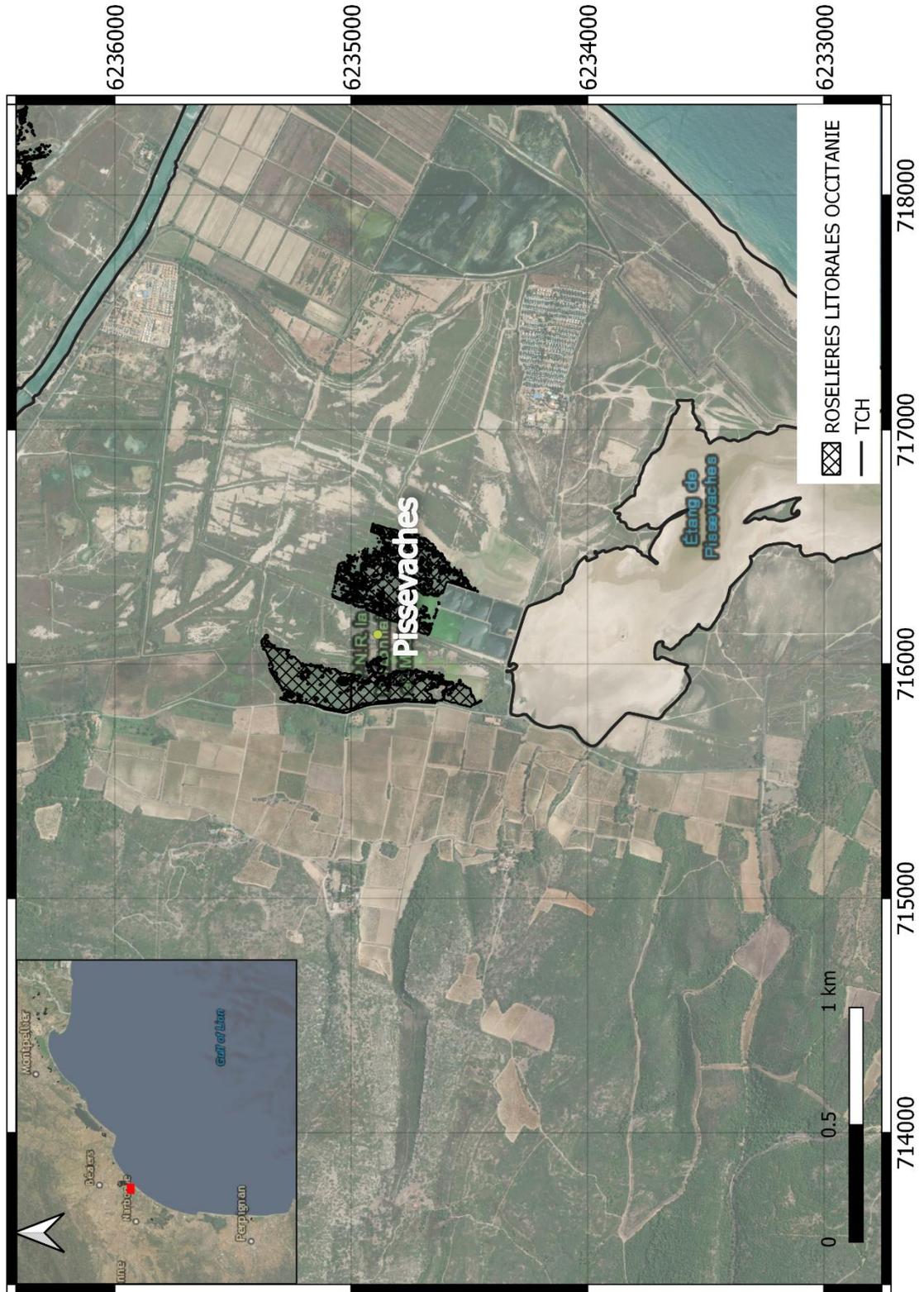


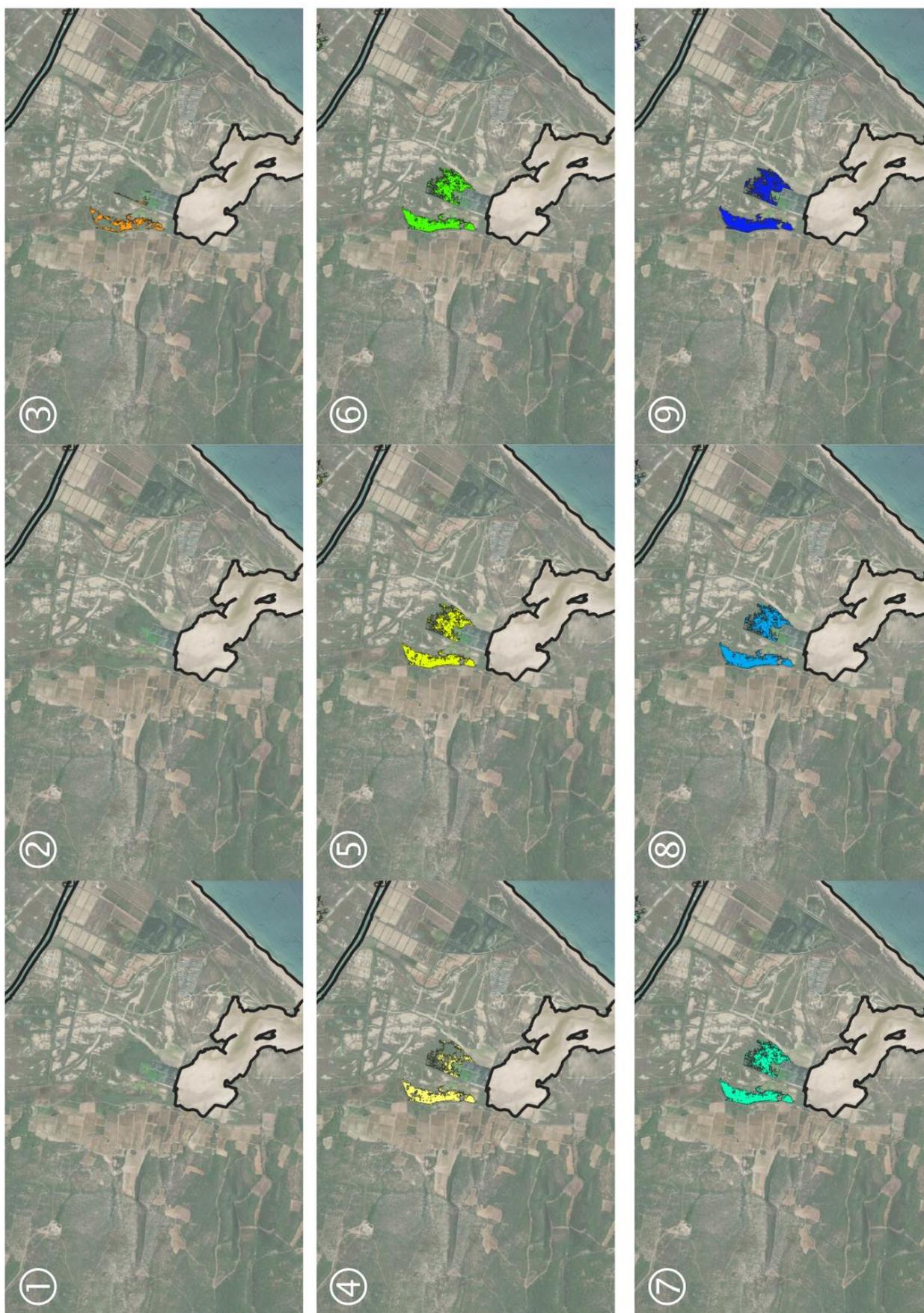
**Roselière du Petit Castelou - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario 2100 récurrent (④ +1,1 m NGF). Pour ce scénario, 94% de la roselière est submergée. Le premier scénario à la recouvrir de manière permanente est le ⑤ 2100\* (+1,2 m NGF), et plus de 96% de sa surface est concernée. Elle est recouverte dans sa totalité pour cette même échéance pour un événement récurrent (⊕ +1,5 m NGF).



**N°5 - Pissevaches**





**Roselière Pissevaches - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario 2100 permanent (③ +0,8 m NGF). C'est la partie ouest qui est principalement concernée par cette submersion. Elle est à ce stade recouverte de manière permanente pour 35% de sa surface. La totalité de sa surface est submergée pour le scénario ⑥ 2100\* récurrent (+1,5 m NGF). La roselière est recouverte quasi totalement (96%) et de manière permanente pour le scénario (⑤ (+1,2 m NGF)).



**N°6 - Capestang**



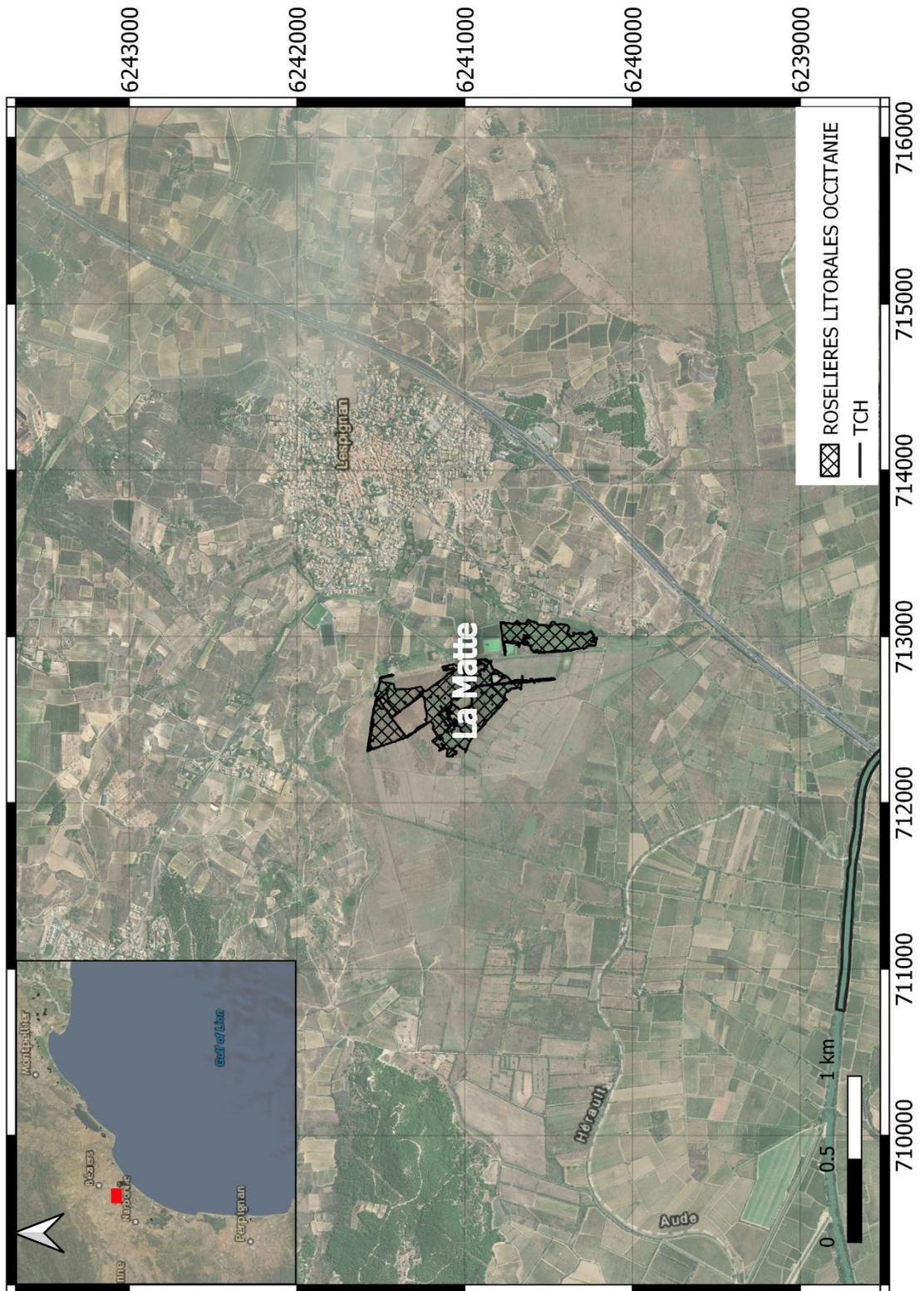


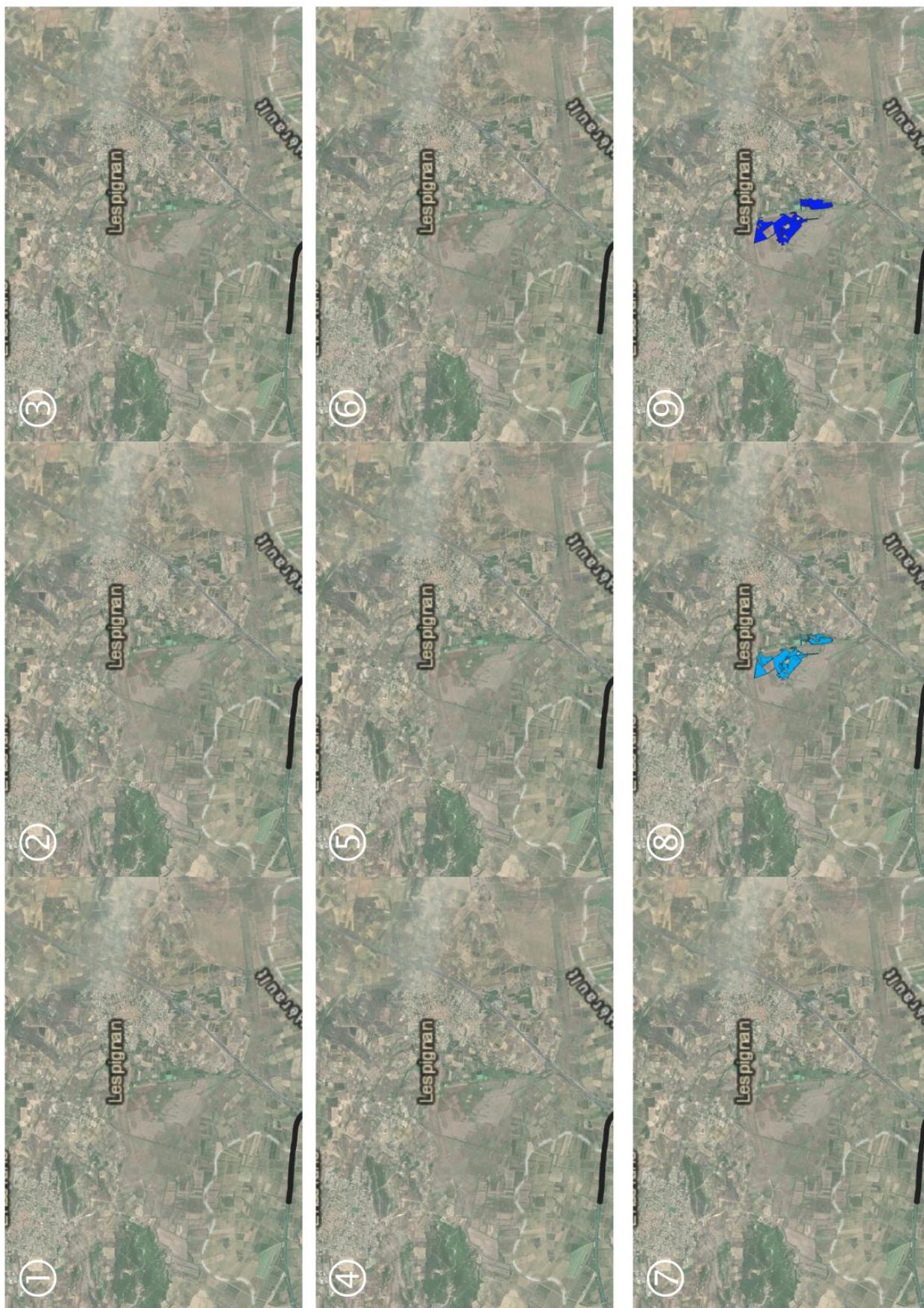
**Roselière Capestang - Evolution de la submersion :**

La roselière compte tenu de son éloignement du trait de côte et de sa situation morphologique n'est atteinte par aucun des scénarios appliqués dans cette étude.



**N°7 - La Matte**



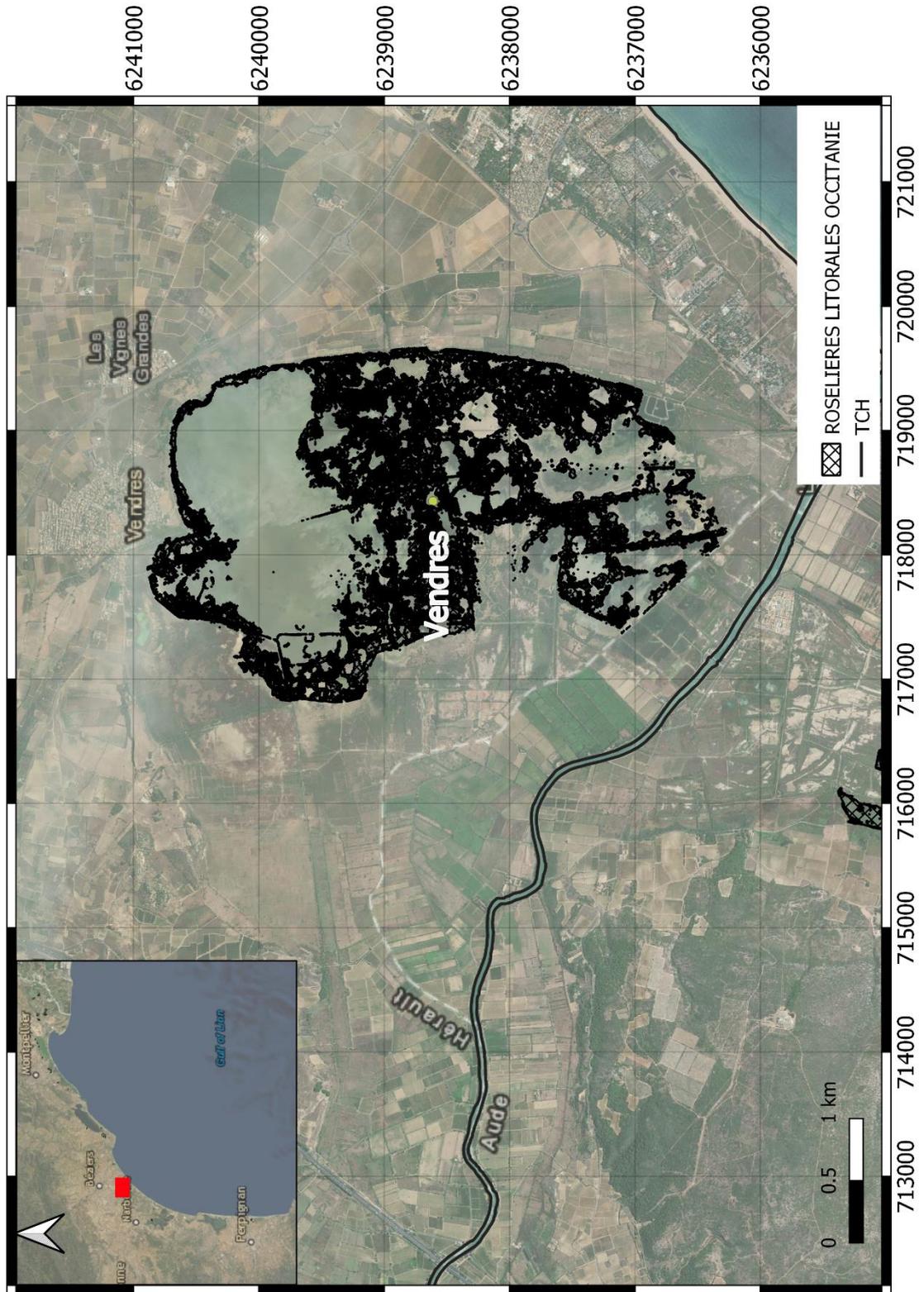


**Roselière La Matte - Evolution de la submersion :**

Cette roselière n'est atteinte par aucun scénario de submersion permanente. Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario 2100 exceptionnel (® +2,40 m NGF). Ce scénario la submerge à 93% de sa surface. Elle est submergée à 100 % pour le scénario ② 2100+ exceptionnel (+2,8 m NGF).



**N°8 - Vendres**



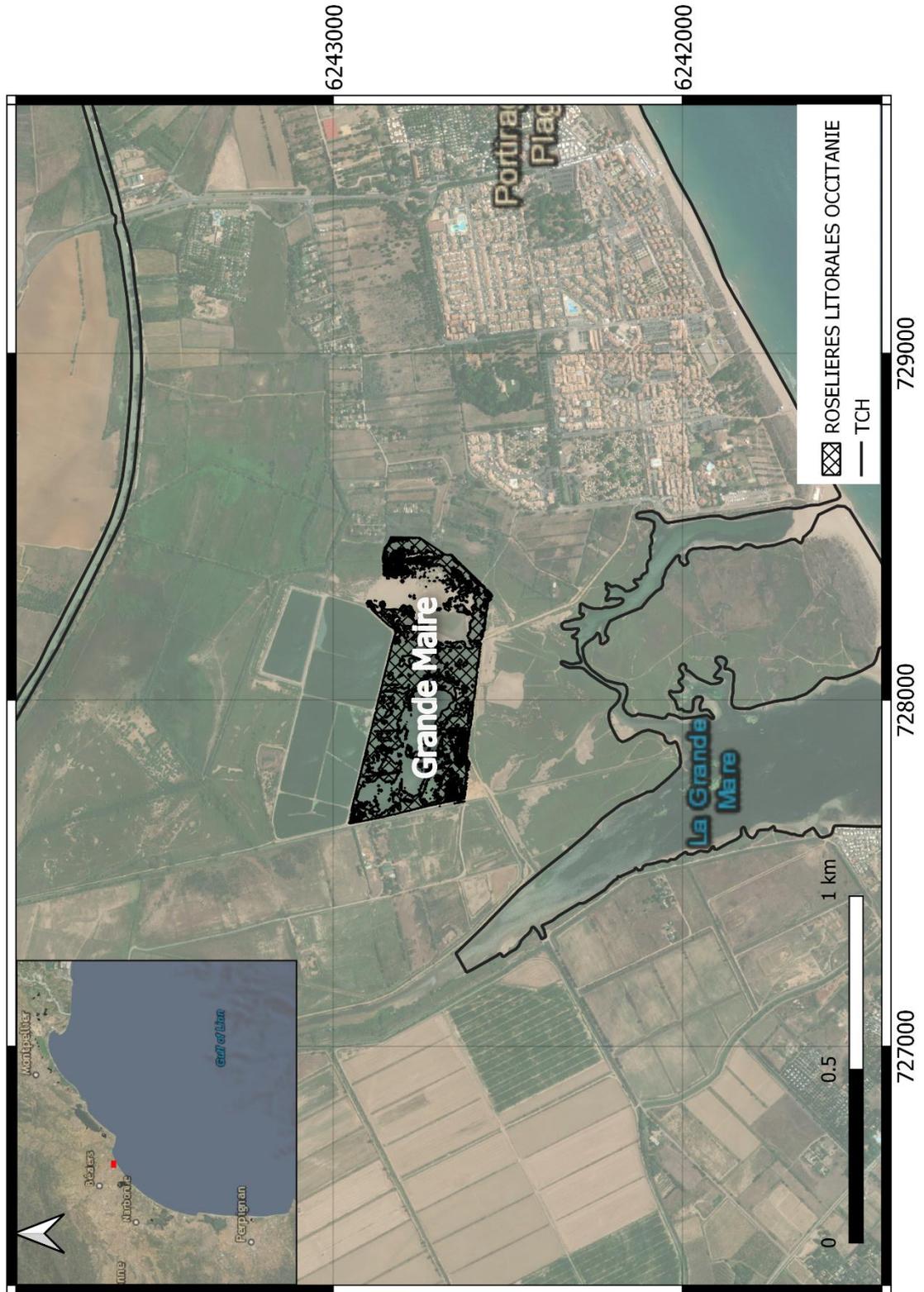


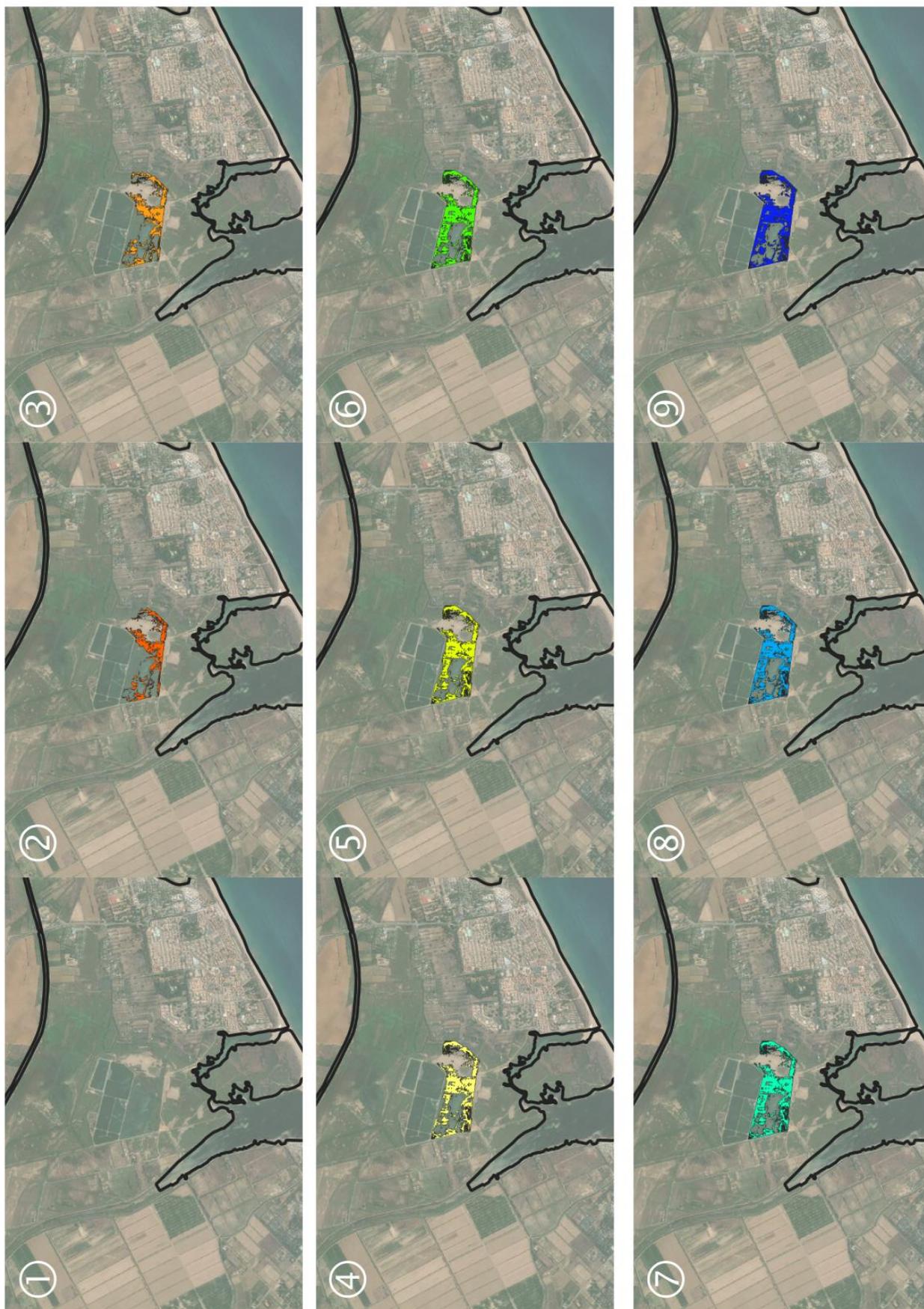
**Roselière Vendres- Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ④ 2100 récurrent (+1,1 m NGF) qui la recouvre dans sa totalité. Le premier scénario permanent atteignant la roselière est le ⑤ 2100+ (+1,2 m NGF) pour lequel la totalité du sol de la roselière est recouvert.



**N°9 – Grande Maire**



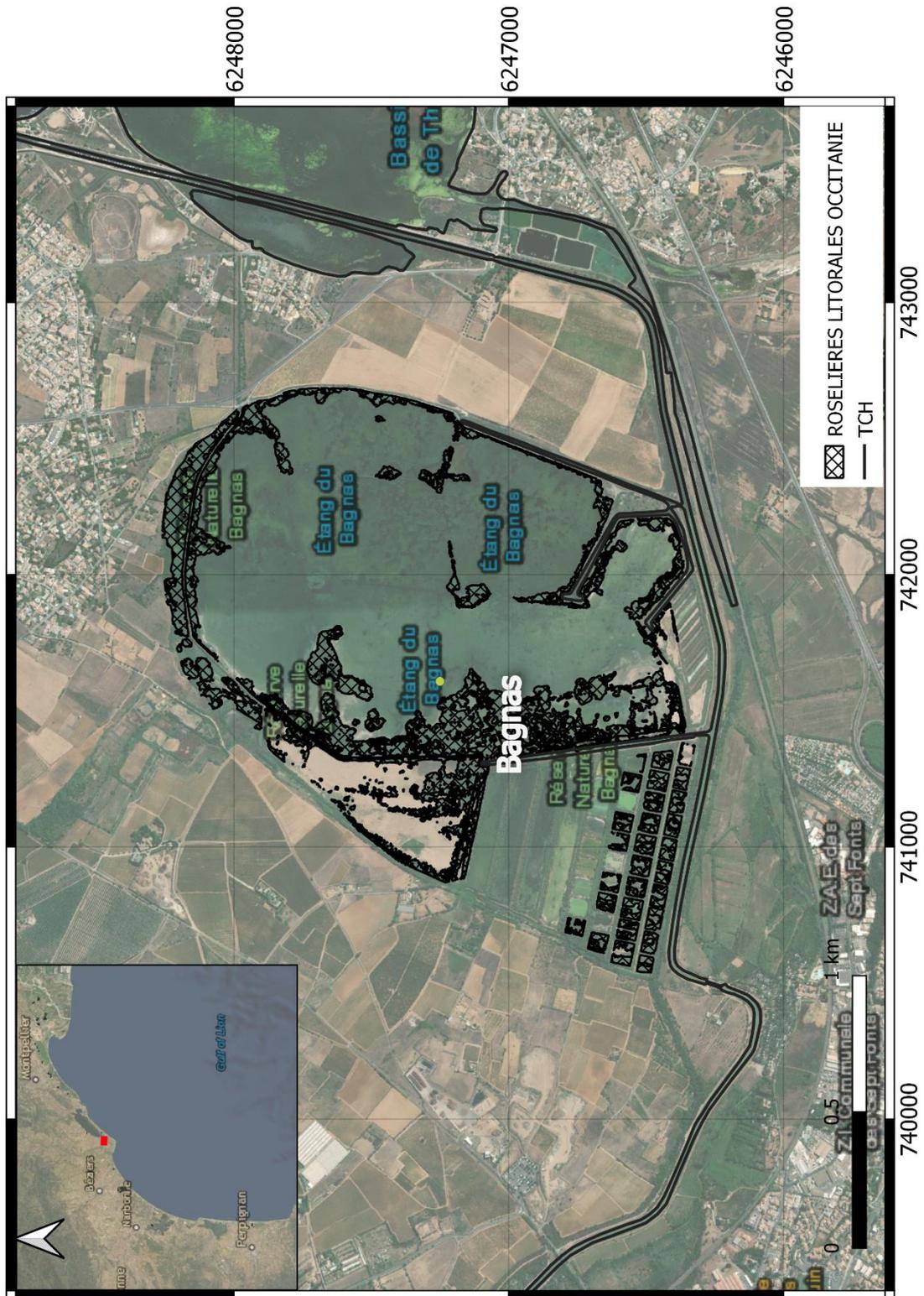


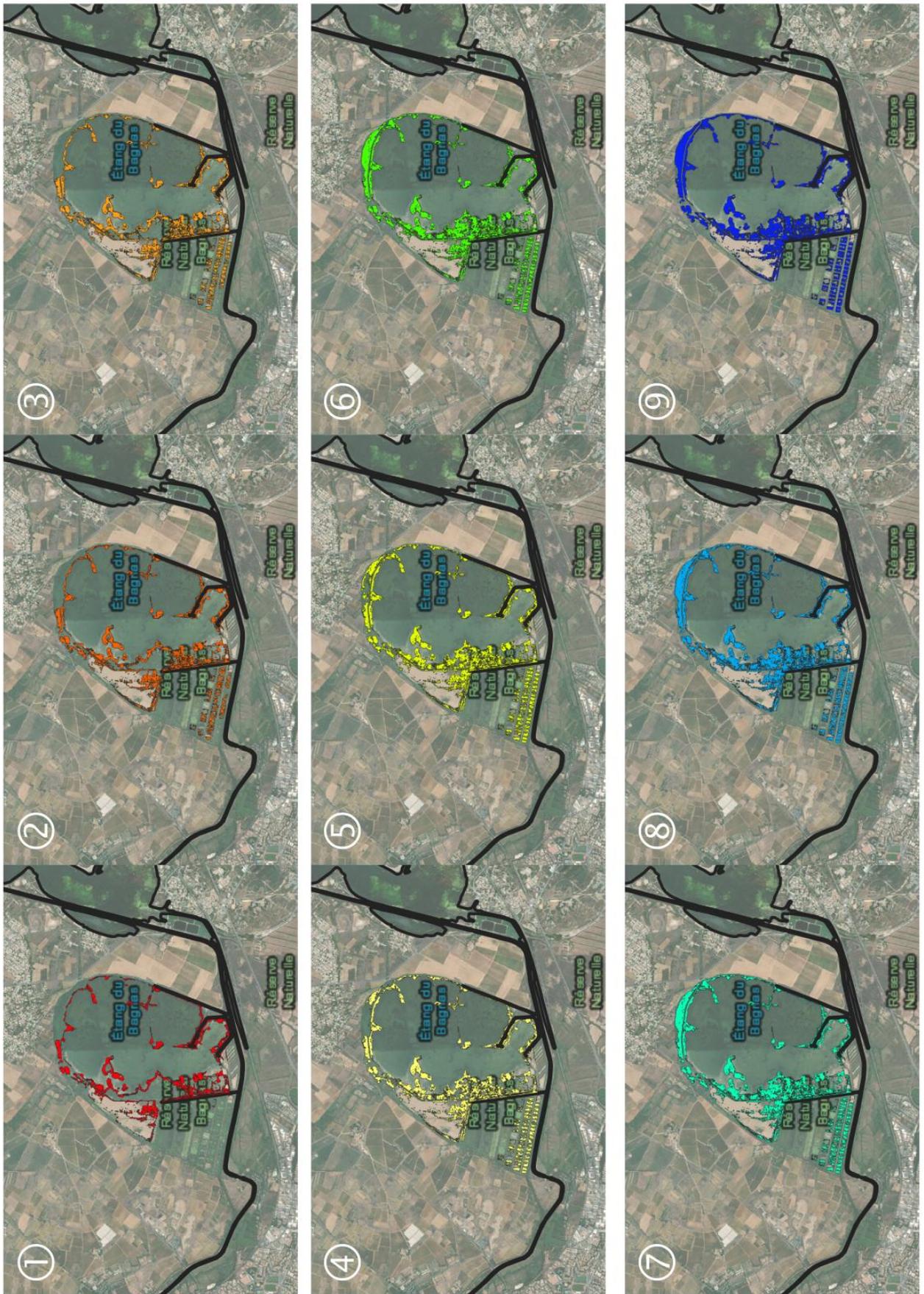
**Roselière Grande Maire- Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ② 2030-2050 récurrent (+0,7 m NGF) qui la recouvre à 54% de sa surface. Le premier scénario submergeant la roselière de manière permanente est le ③ 2100 (+0,8 m NGF) pour lequel 68,5% de la surface est submergée. Le scénario ⑤ 2100\* (+1,2 m NGF) la recouvre de manière permanente à 95%. 100 % de la surface de la roselière sont submergés de manière récurrente pour le scénario ⑥ (2100\* , +1,5 m NGF).



**N°10 – Bagnas**





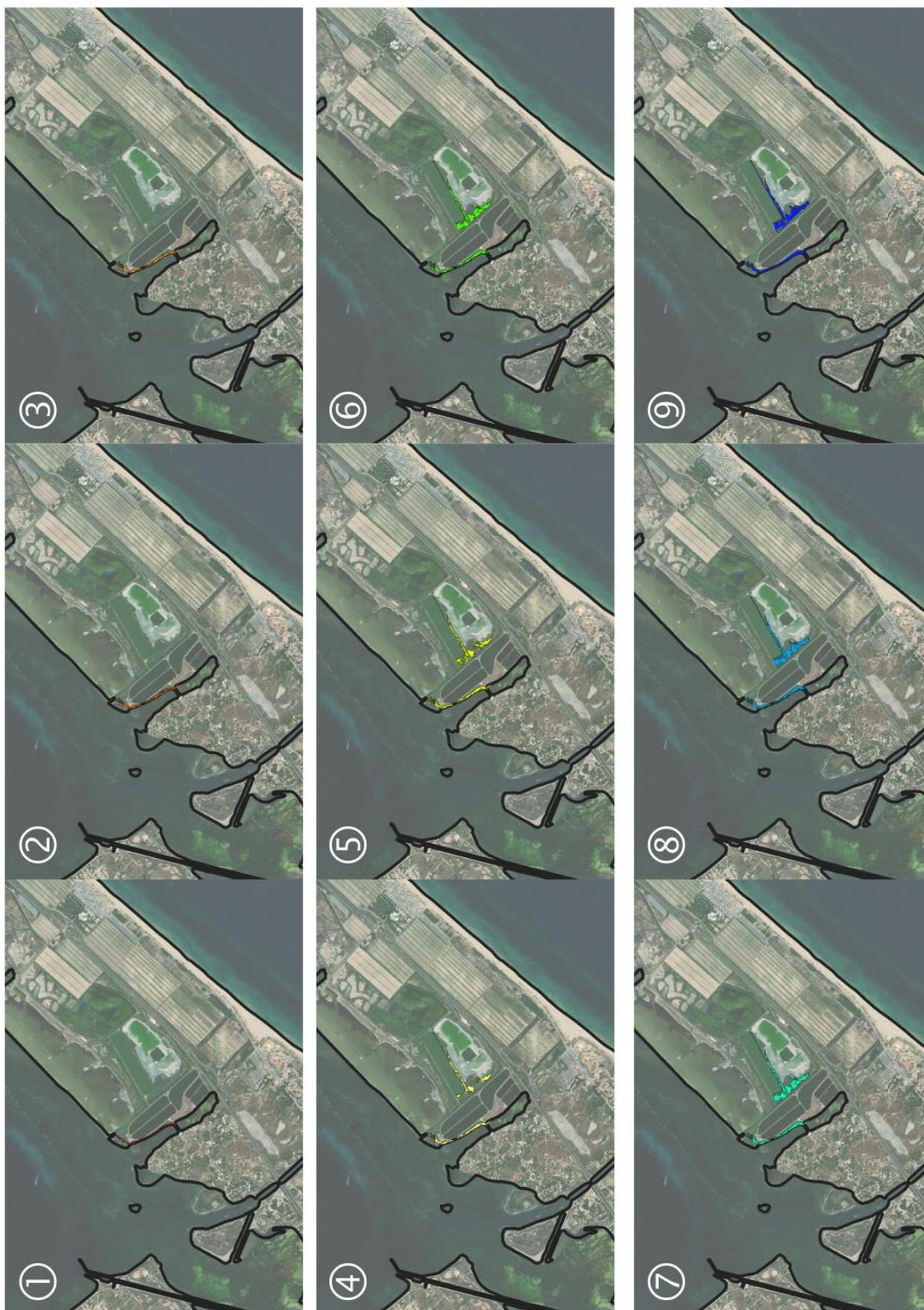
**Roselière Bagnas- Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ① 2030-2050 permanent (+0,4 m NGF) qui la recouvre à 50% de sa surface. Le scénario ⑤ 2100\* (+1,2 m NGF) la recouvre à 95% de manière permanente. A cette même échéance un scénario récurrent la recouvre totalement (⊕ +1,5 m NGF).



**N°11 – Castellias**





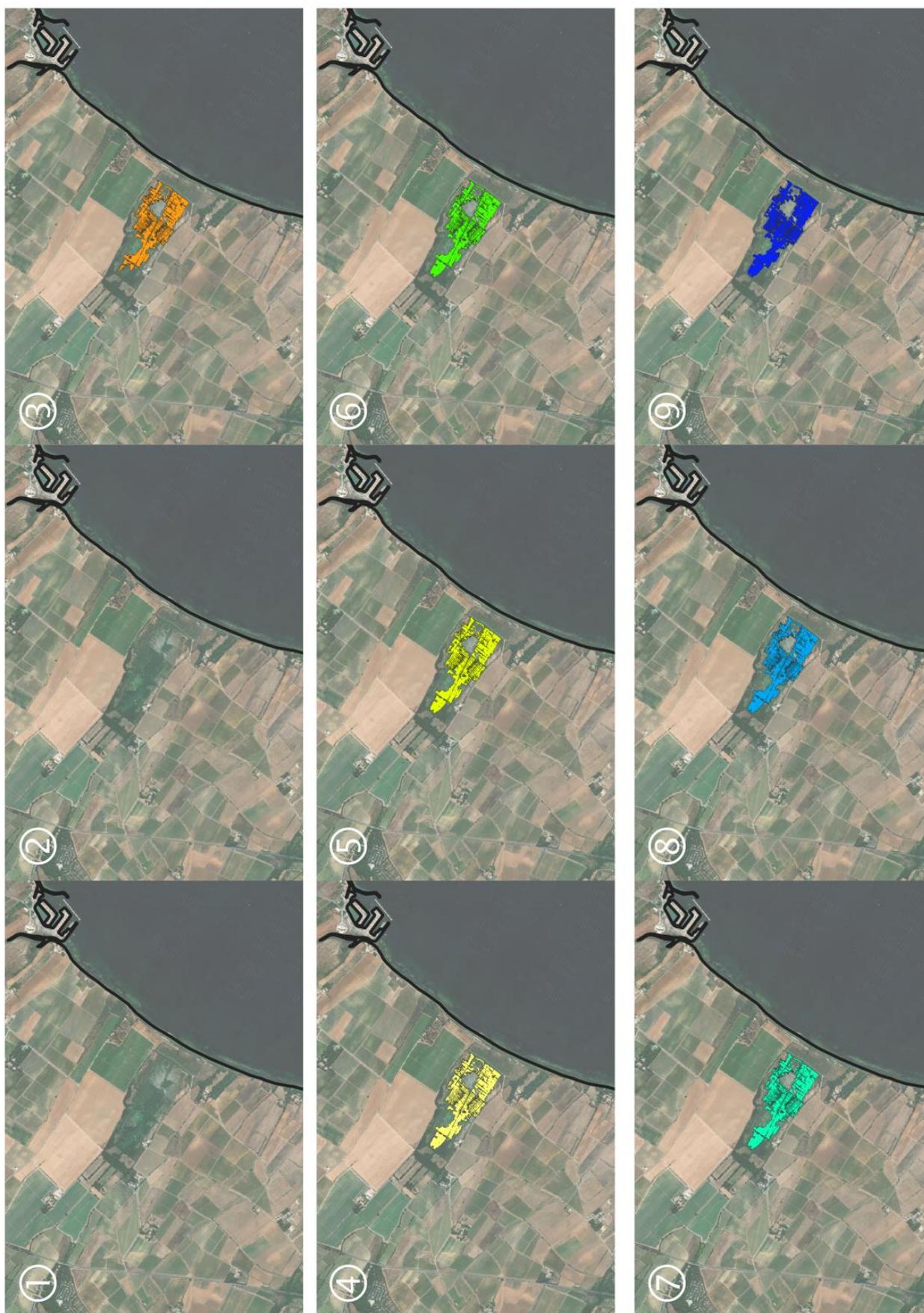
**Roselière Castellas- Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ① 2030-2050 permanent (+0,4 m NGF). 12% de sa surface sont alors submergés de manière permanente. 87% de la roselière est submergée de manière permanente à l'échéance 2100\* (⑤ +1,2 m NGF). La totalité de la roselière est recouverte pour le scénario récurrent ⑥ 2100\* récurrent (+1,5 m NGF).



**N°12 – Prés du Baugé**



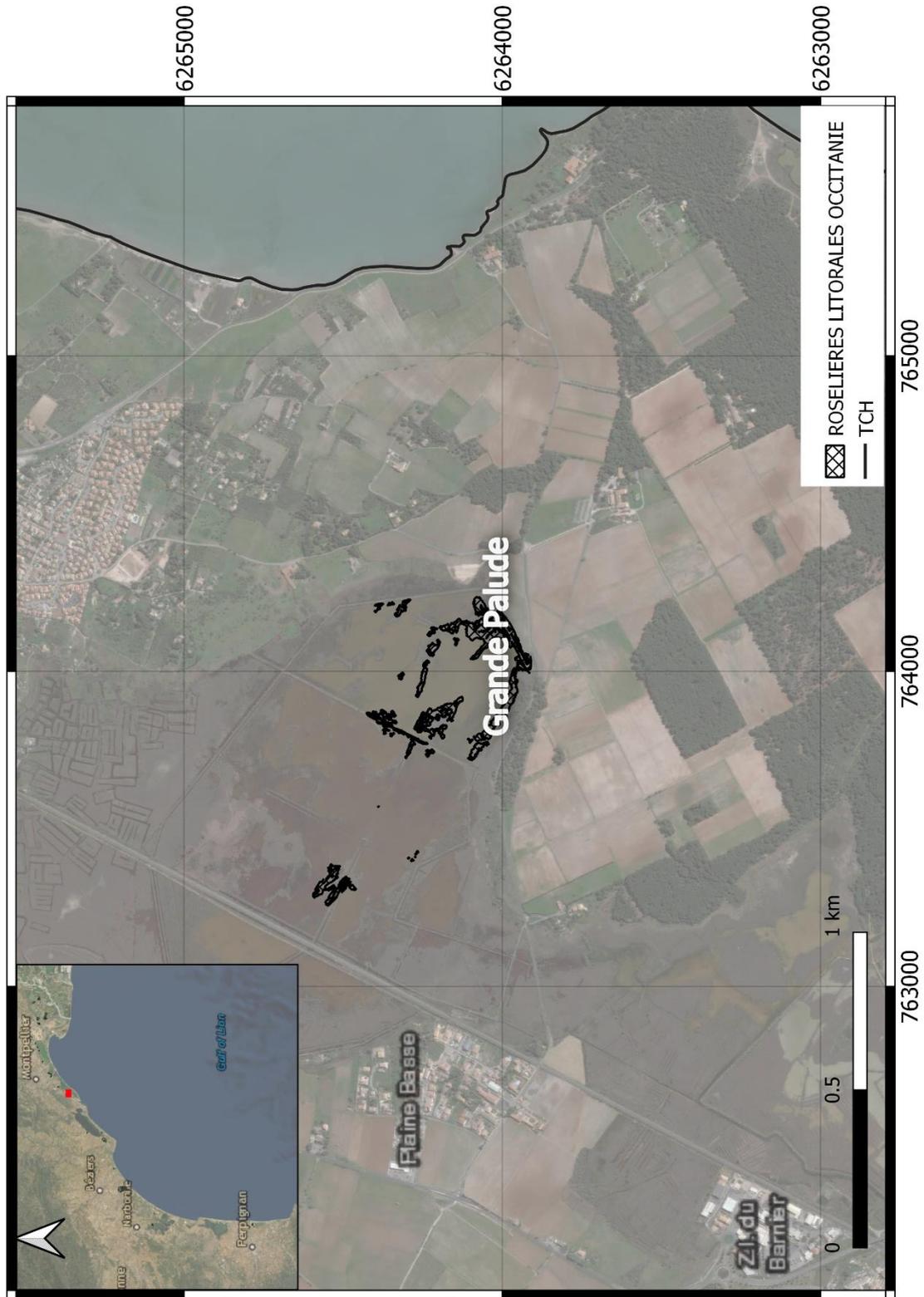


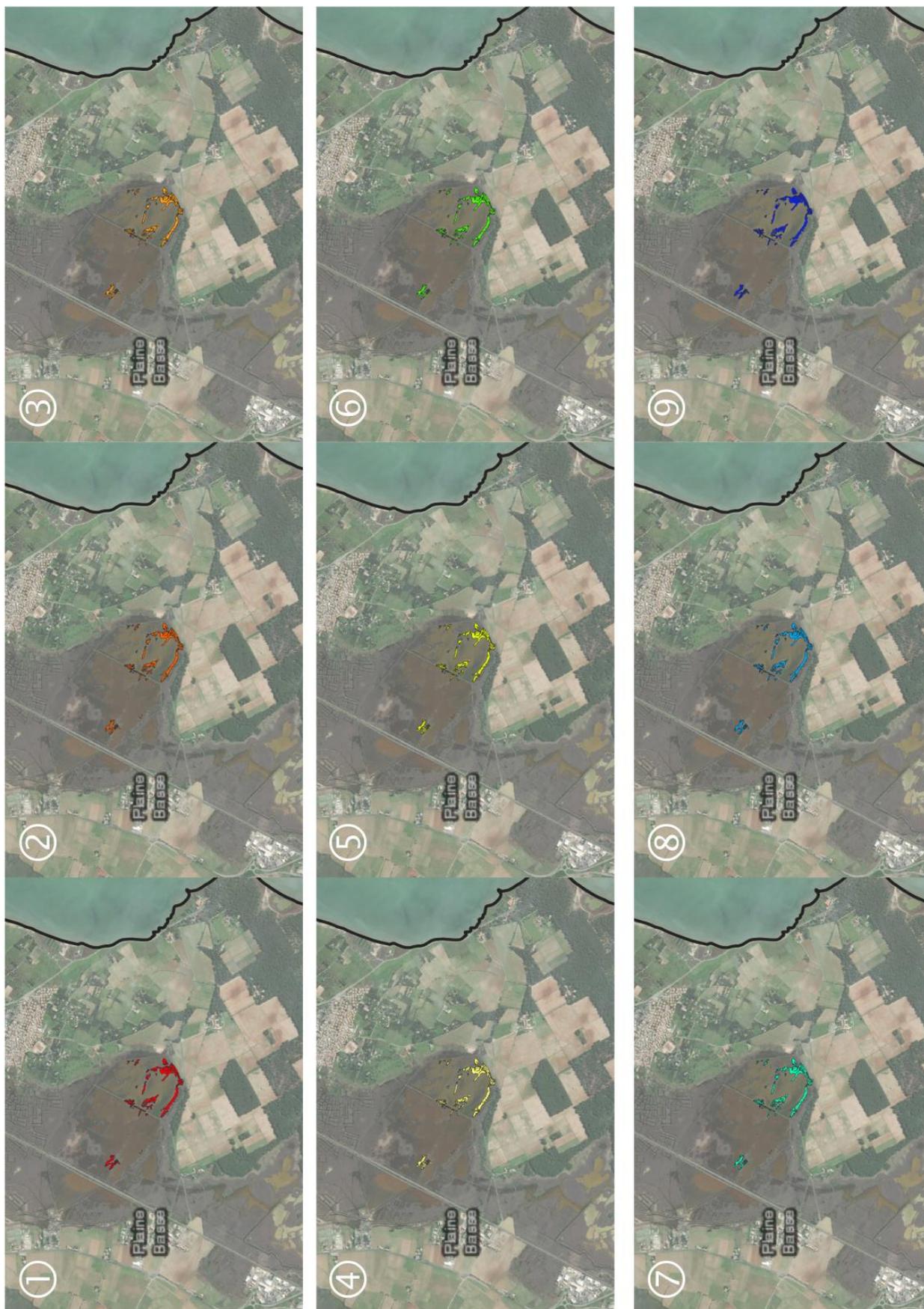
**Roselière Pré du Baugé- Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ③ 2100 (+0,8 m NGF). Cette submersion est permanente et concerne 95% de la surface de la roselière. La totalité de la roselière est recouverte pour le scénario ④ 2100 pour un événement récurrent (+1,1 m NGF).



**N°13 – Grande Palude**



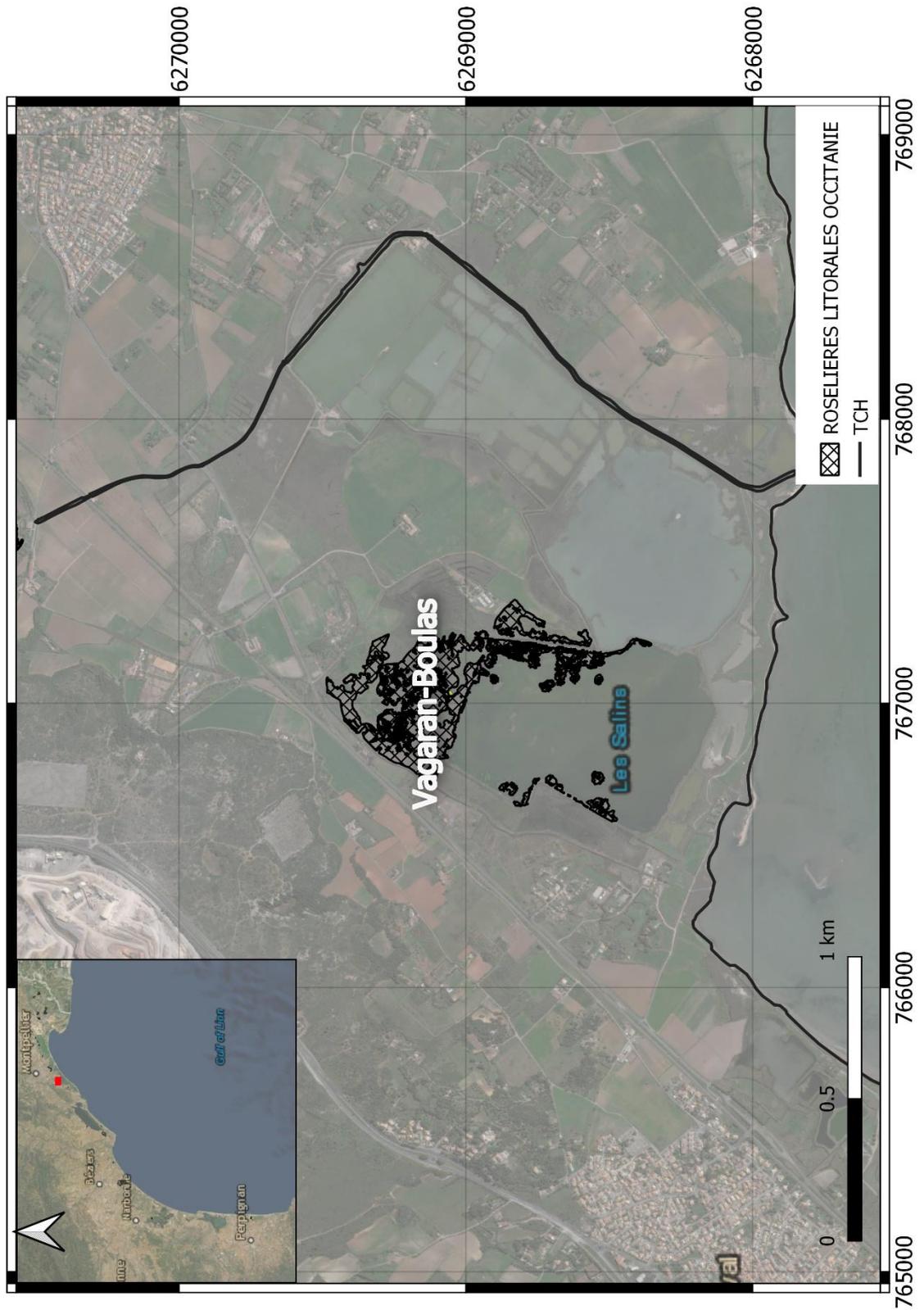


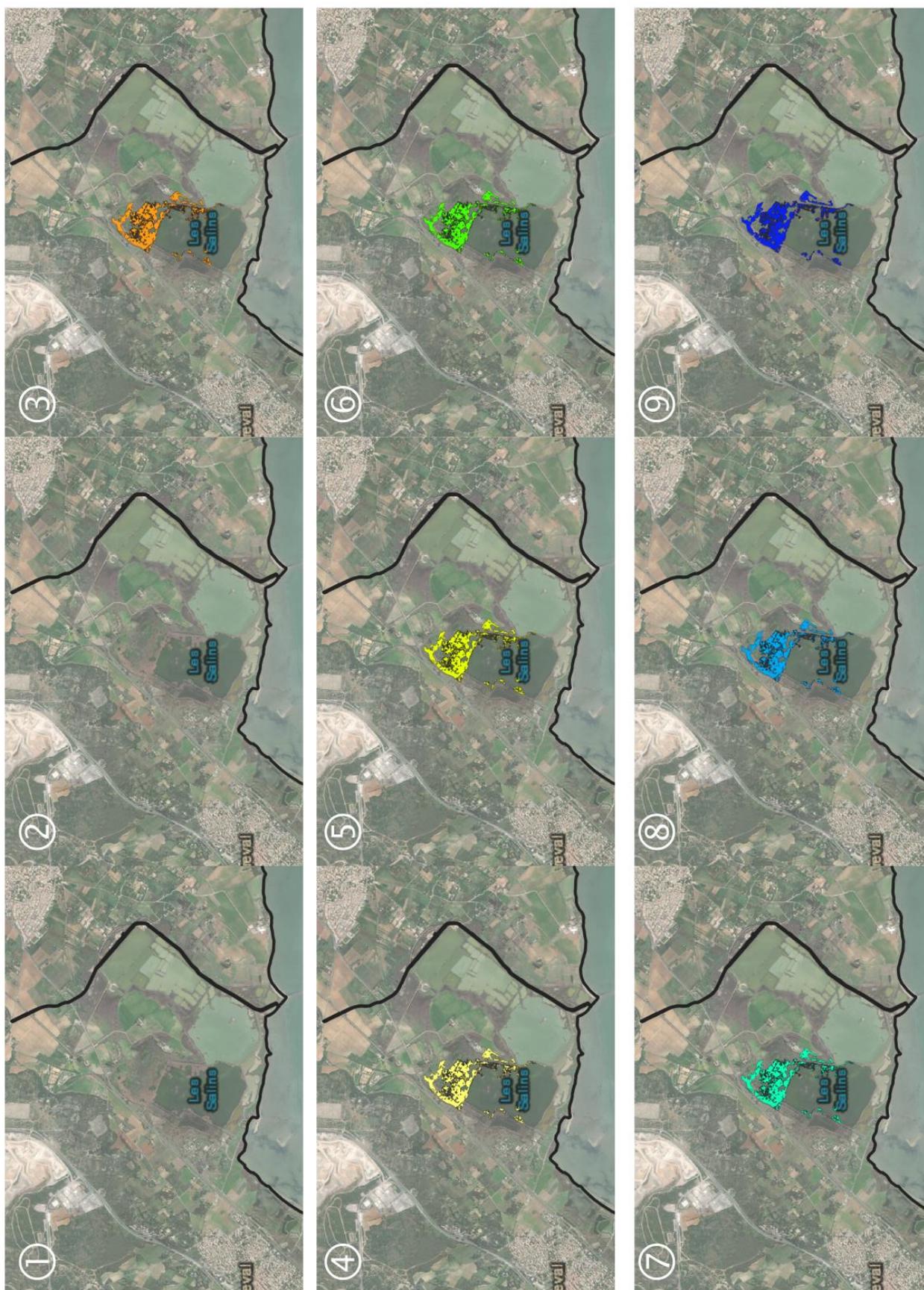
**Roselière Grande Palude- Evolution de la submersion (méthode « zone basse ») :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ① 2030-2050 (+0,4 m NGF). Cette submersion est permanente et concerne déjà à ce stade la totalité de la surface de la roselière.



**N°14 – Vagaran-Boulas**



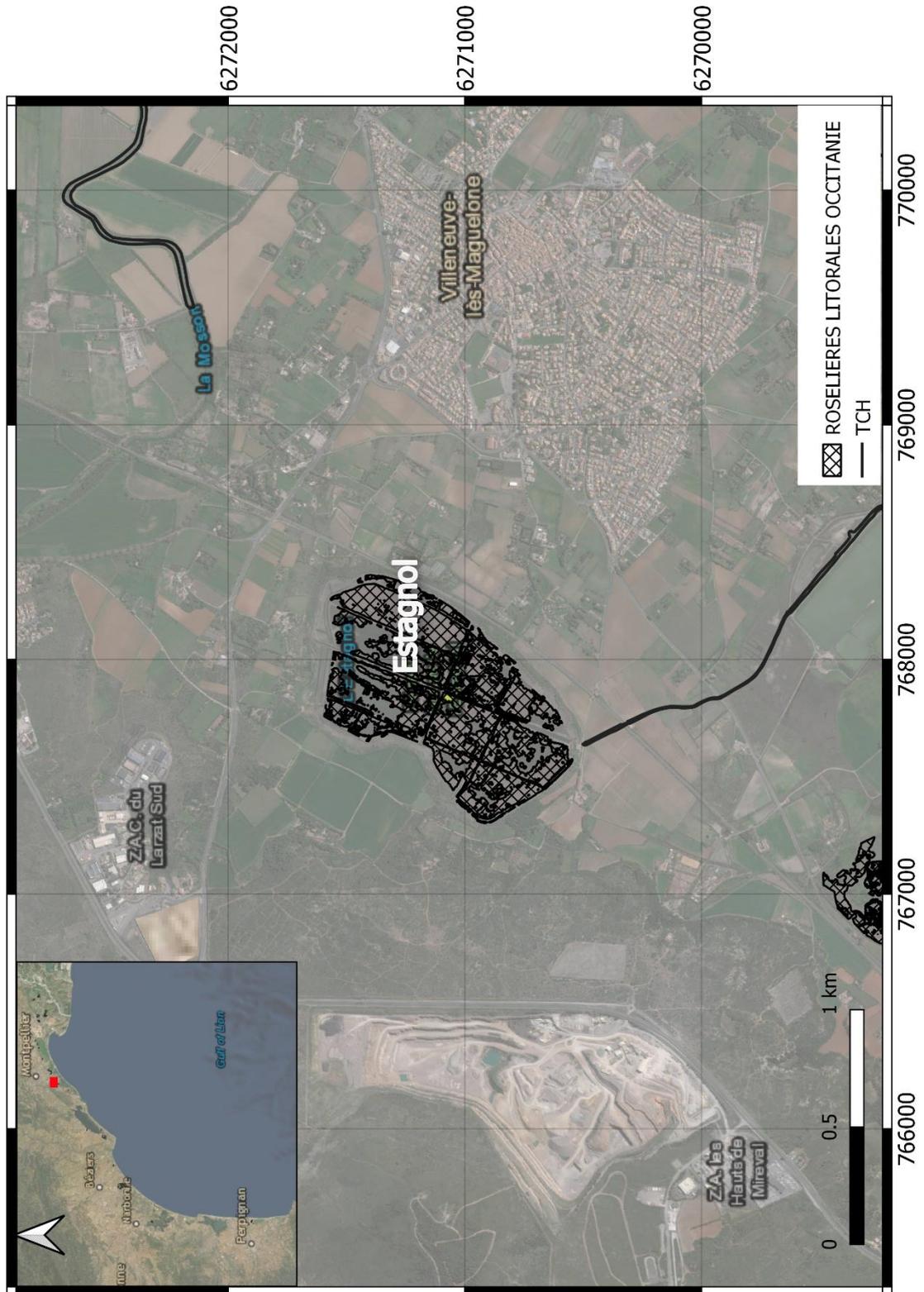


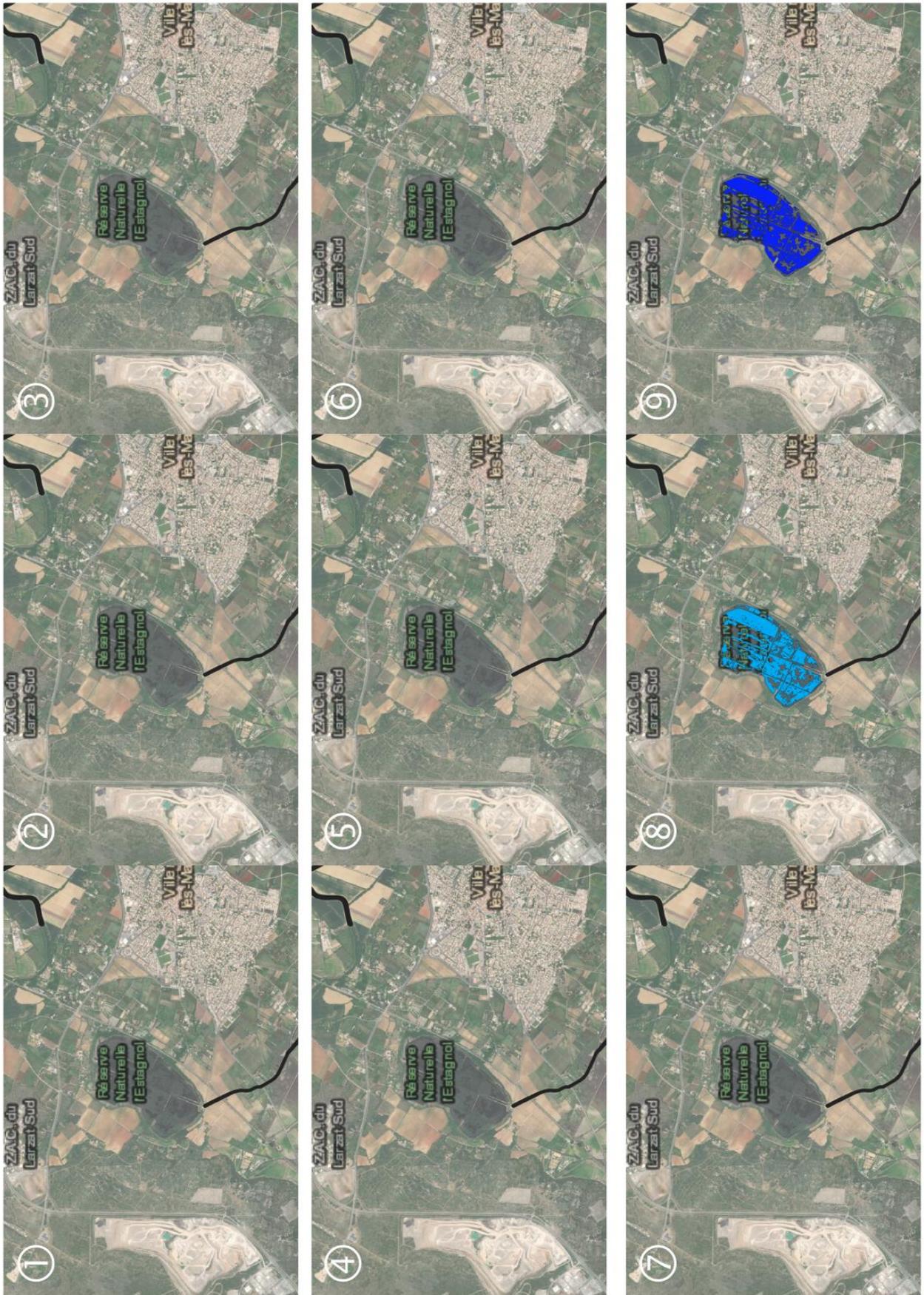
**Roselière Vagaran-Boulas- Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ③ 2100 (+0,8 m NGF). Cette submersion est permanente et concerne la totalité de la surface de la roselière.



**N°15 – Estagnol**



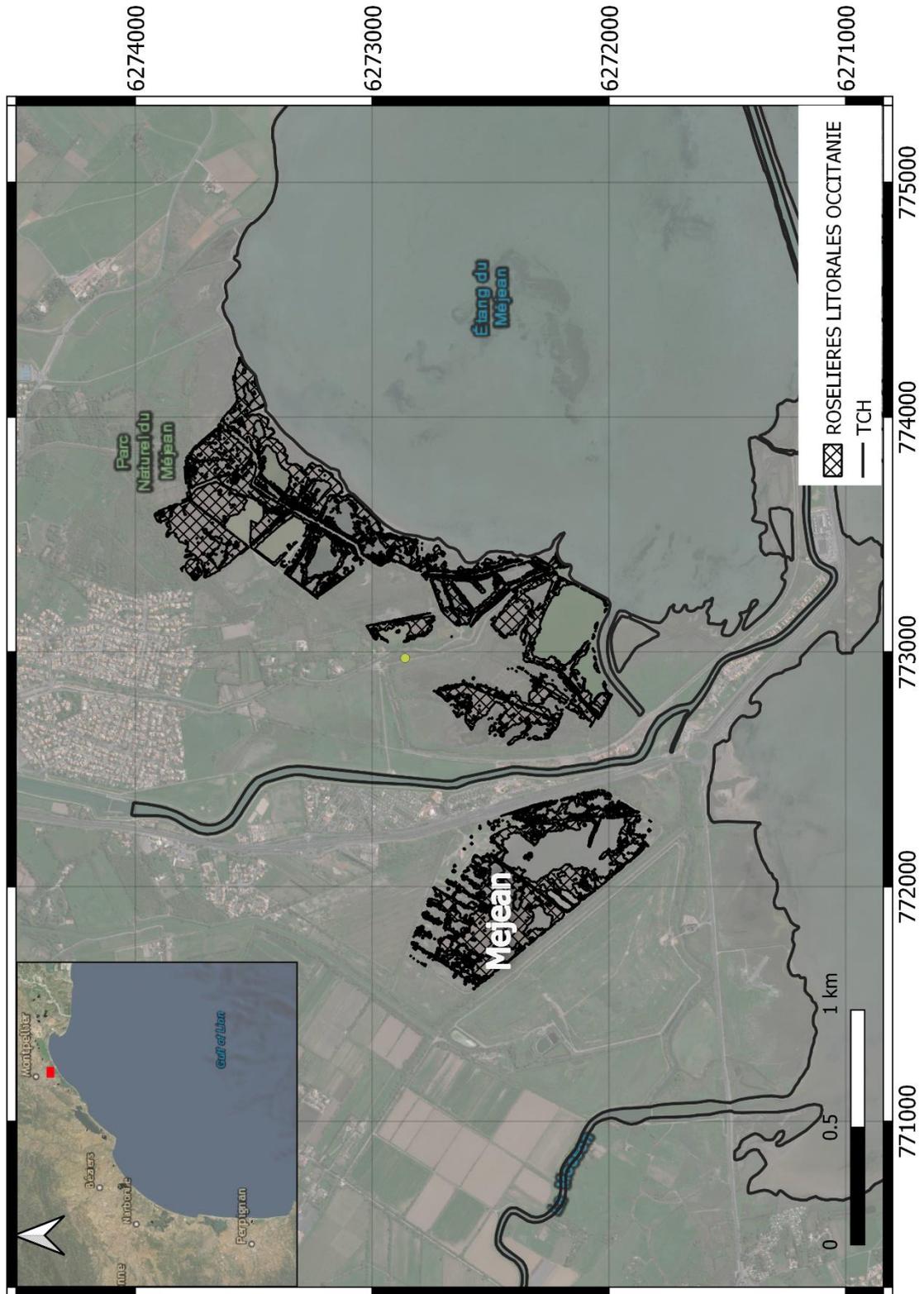


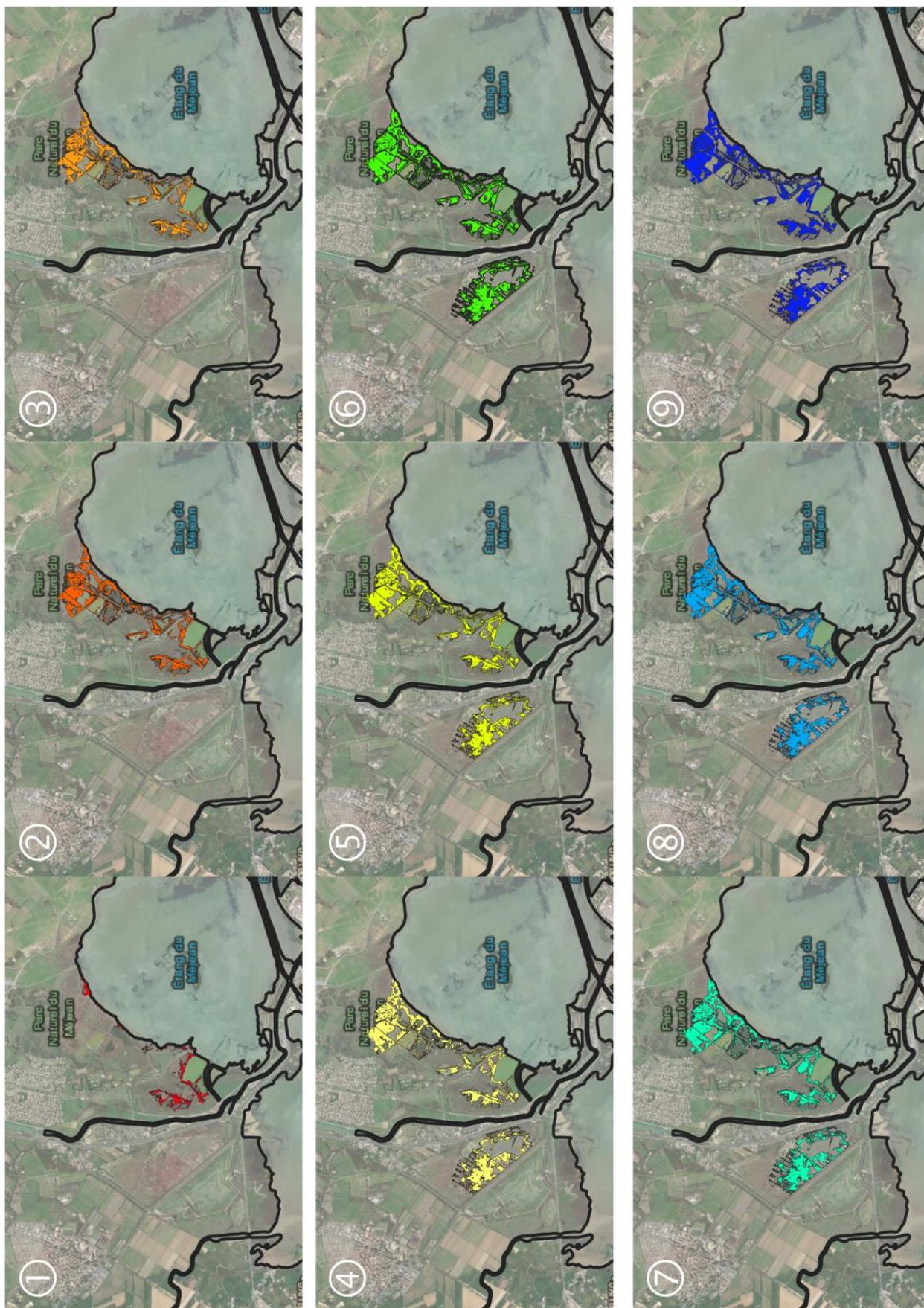
**Roselière Estagnol - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ⑧ 2100 exceptionnel (+2,40 m NGF). 100% de la roselière est submergée pour ce scénario. La roselière n'est atteinte par aucun scénario permanent à l'horizon 2100\*.



**N°16 – Méjean**



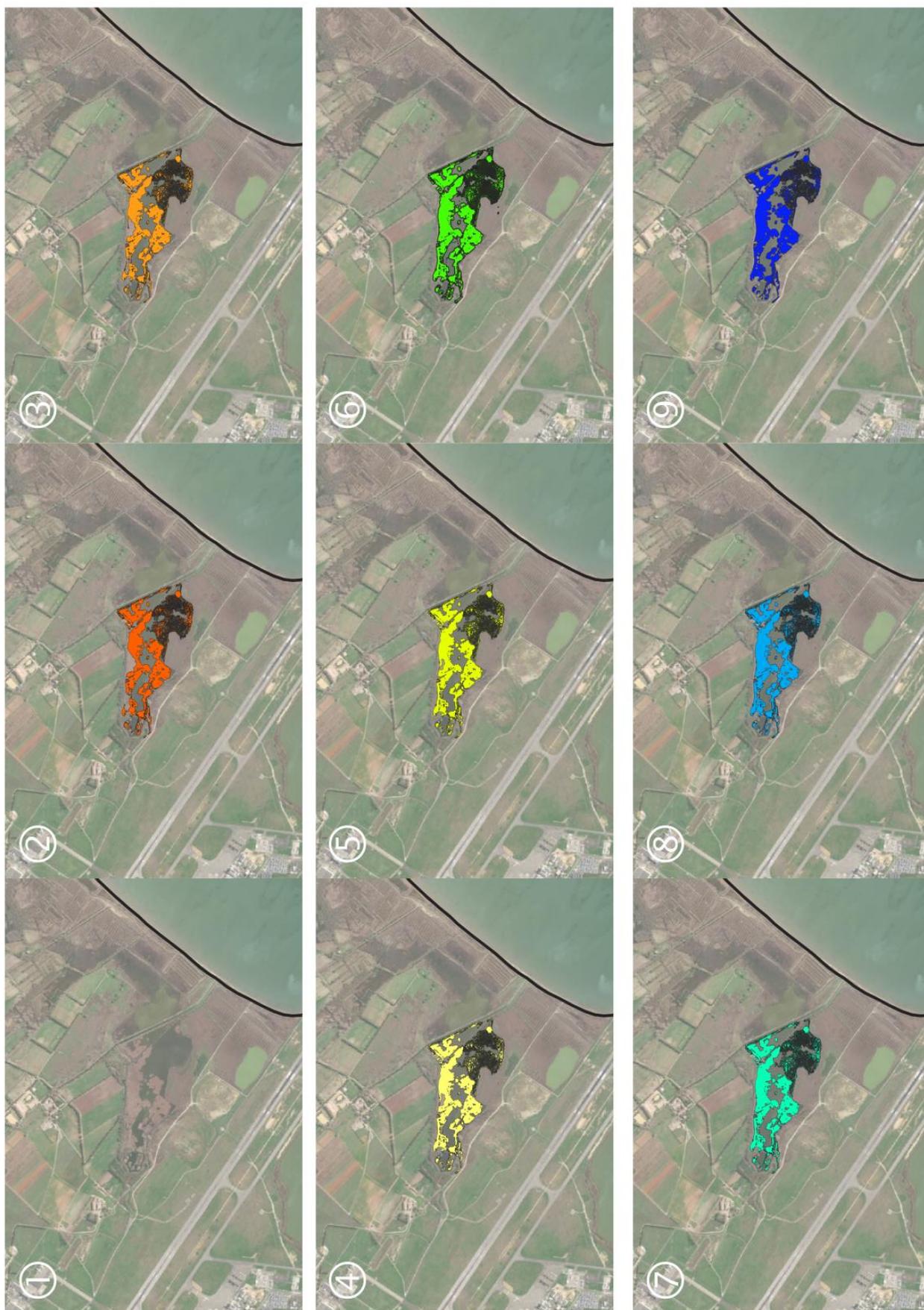


**Roselière Méjean - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ① 2030-2050 (+0,4 m NGF). Il s'agit d'une submersion permanente qui concerne une partie limitée de la roselière (13% de sa surface). Le scénario ② récurrent 2030-2050 (+0,7 m NGF) submerge à 57% la roselière. Elle est submergée de manière permanente à 62% pour le scénario ③ 2100 (+0,8 m NGF). Elle est ensuite recouverte à 98% par une submersion récurrente du scénario ④ 2100 (+1,1 m NGF) et de manière permanente à 99% pour le scénario ⑤ 2100\* (+1,2 m NGF).





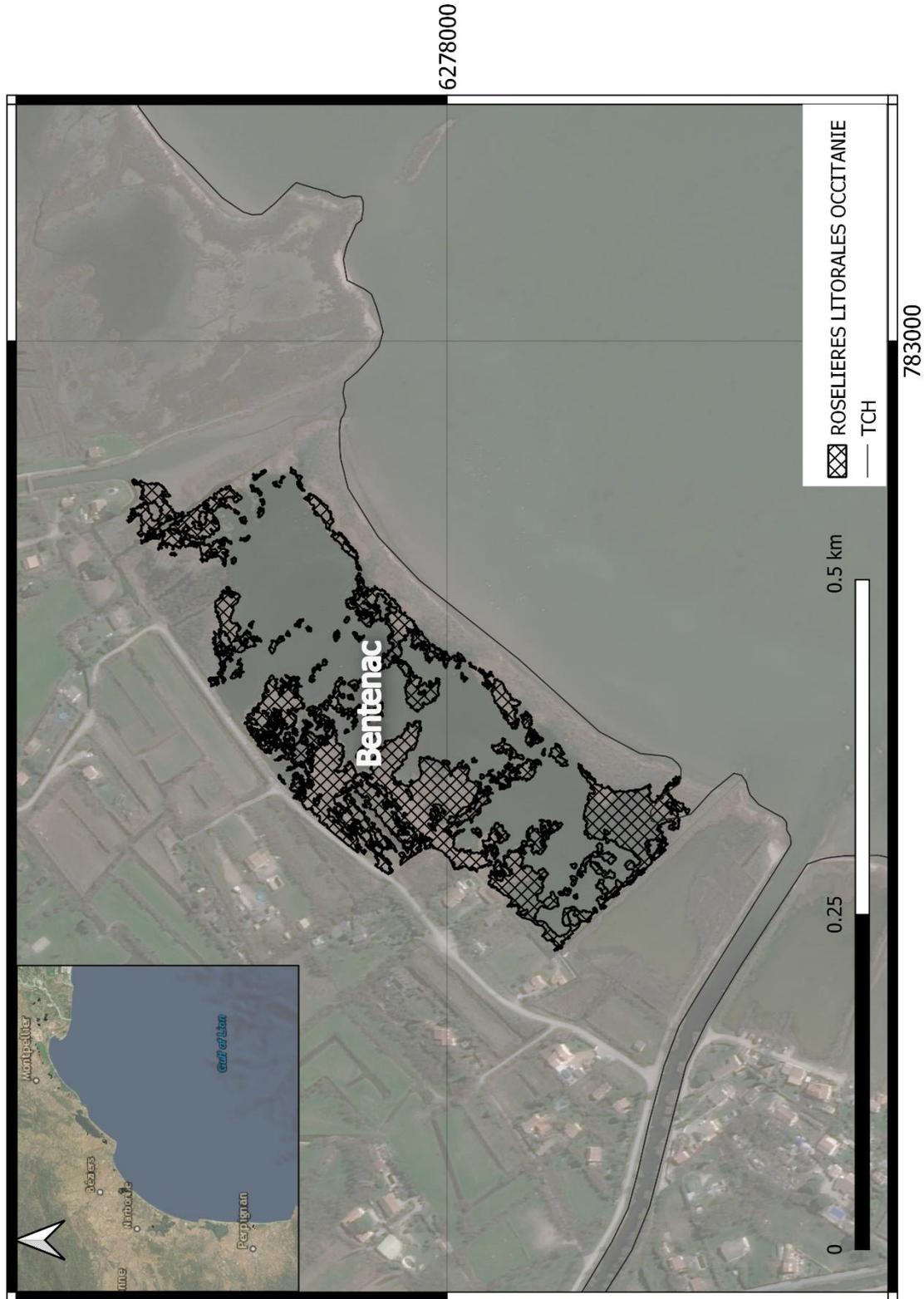


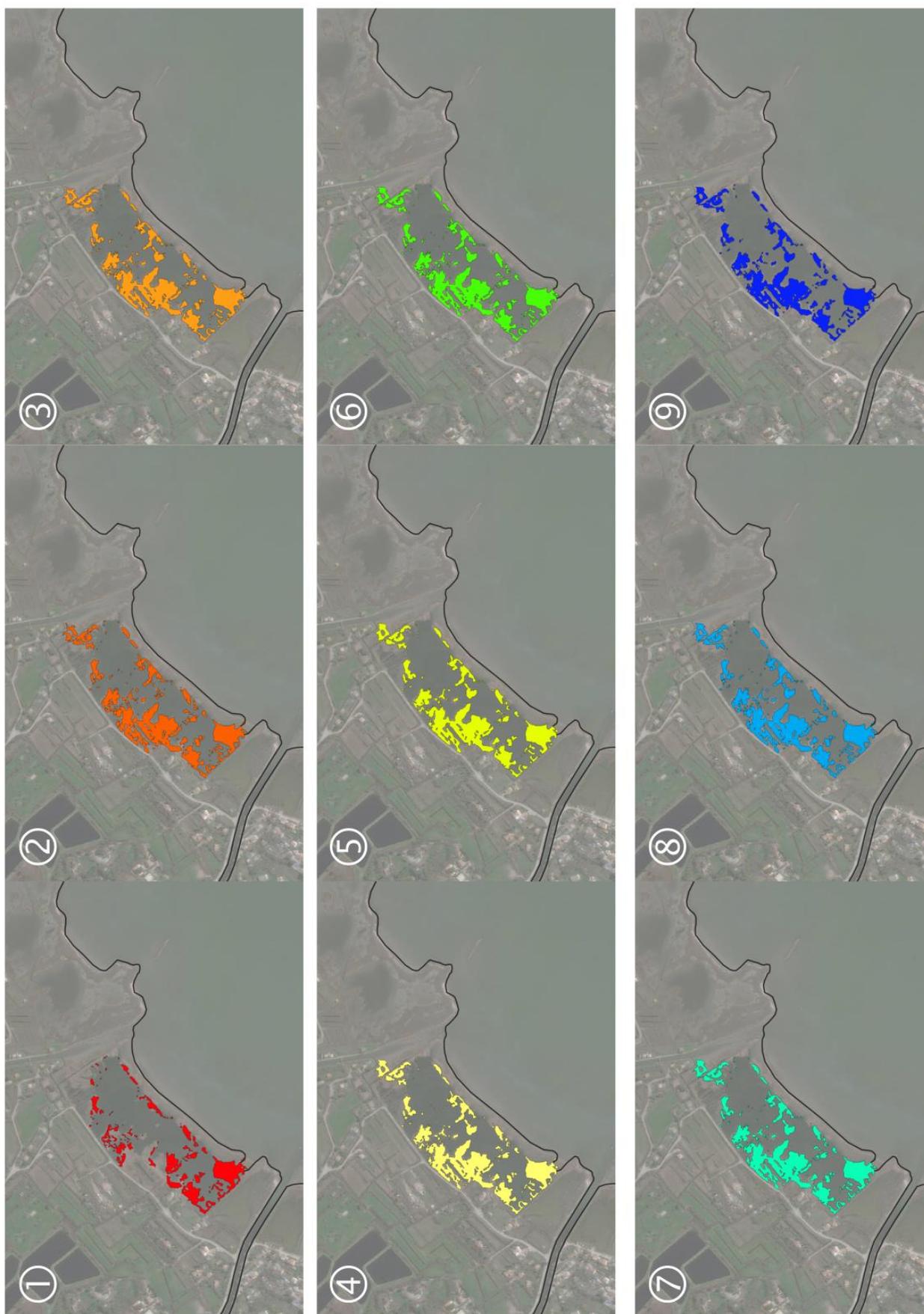
**Roselière Saint-Marcel - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ② récurrent 2030-2050 (+0,7 m NGF) qui la recouvre à 93,5%. Elle est submergée à 95% de manière permanente pour le scénario ③ 2100 (+0,8 m NGF) et à 99% à cette même échéance pour un scénario récurrent (④ 2100 +1,1 m NGF).



**N°18 – Bente nac**



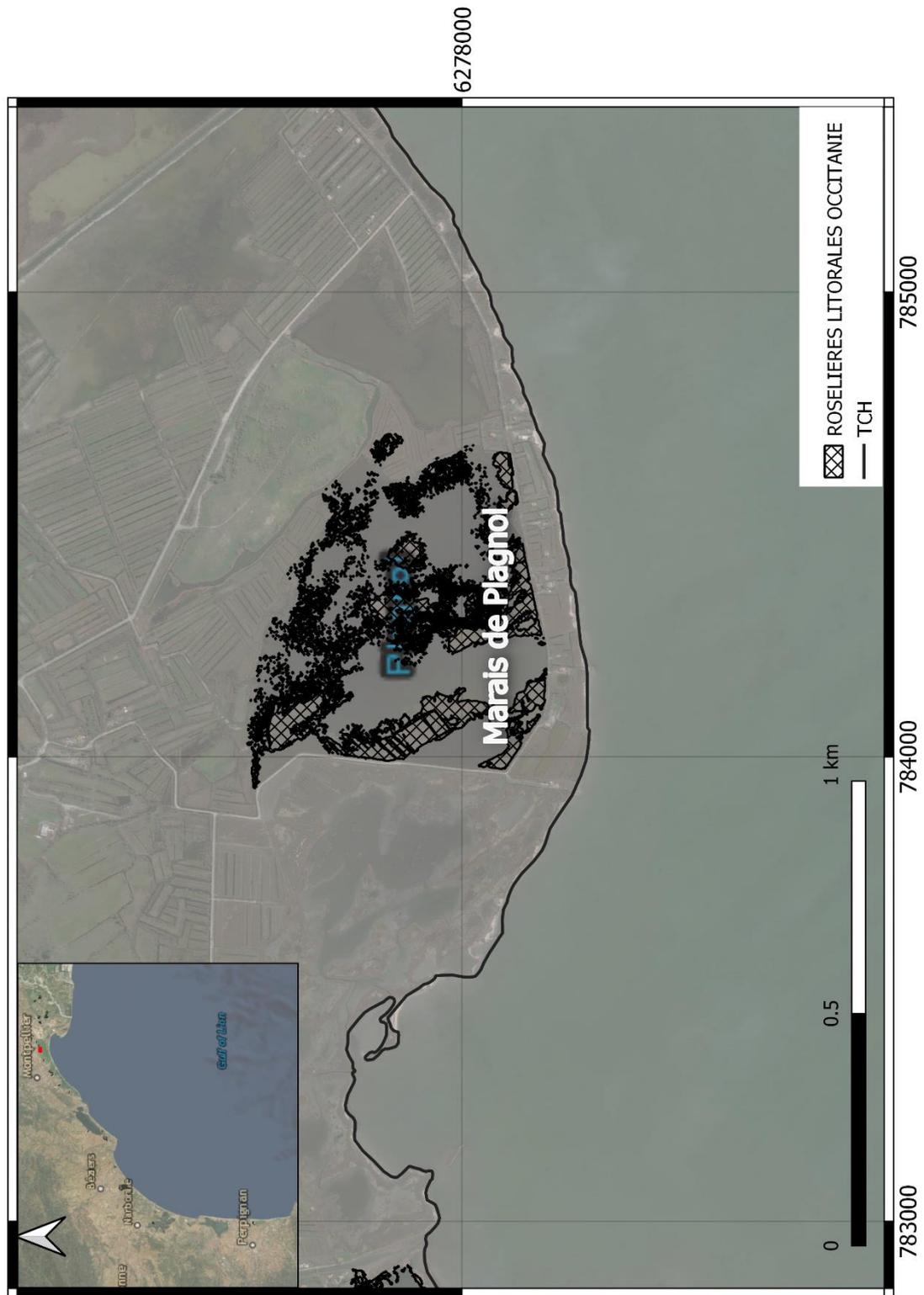


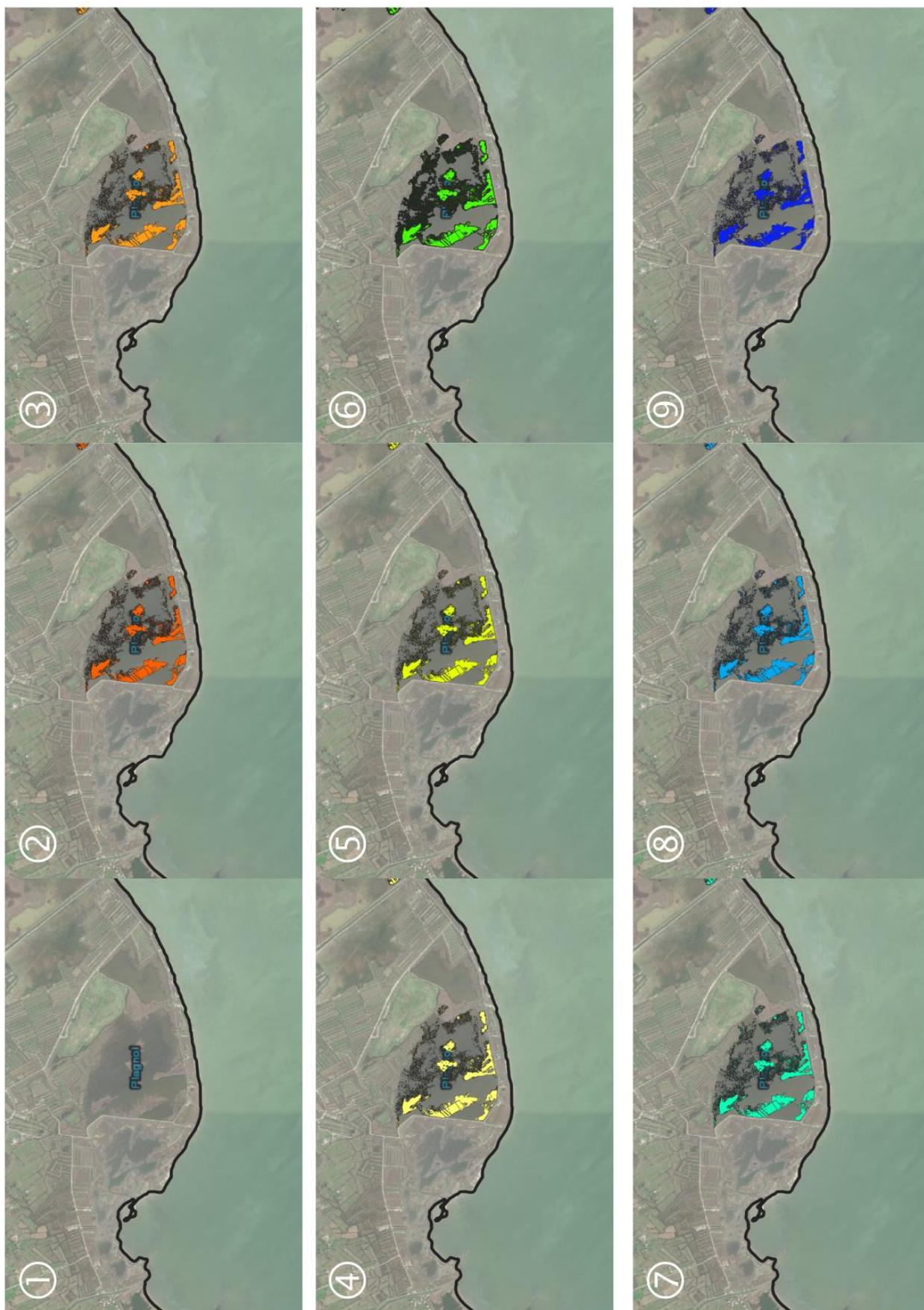
**Roselière Bentenac - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ① 2030-2050 (+0,4 m NGF). Il s'agit d'une submersion permanente qui concerne 52% de la surface de la roselière. Pour ce même échéance et pour un scénario récurrent ② (+0,7 m NGF) la roselière est recouverte à 94%. Elle est submergée dans sa quasi-totalité (96%) de manière permanente pour le scénario ③ (+0,8 m NGF).



**N°19 – Marais de Pagnol**



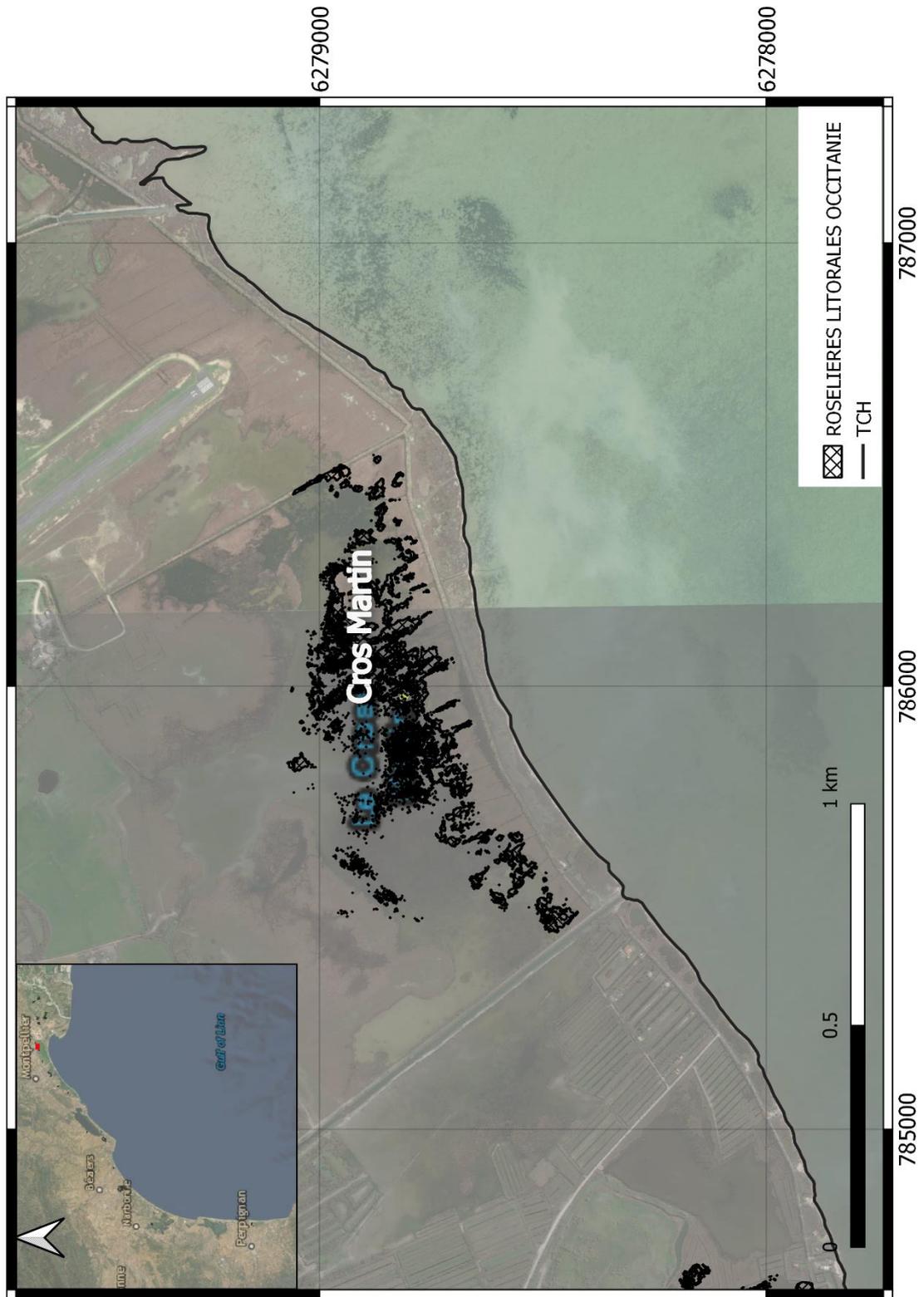


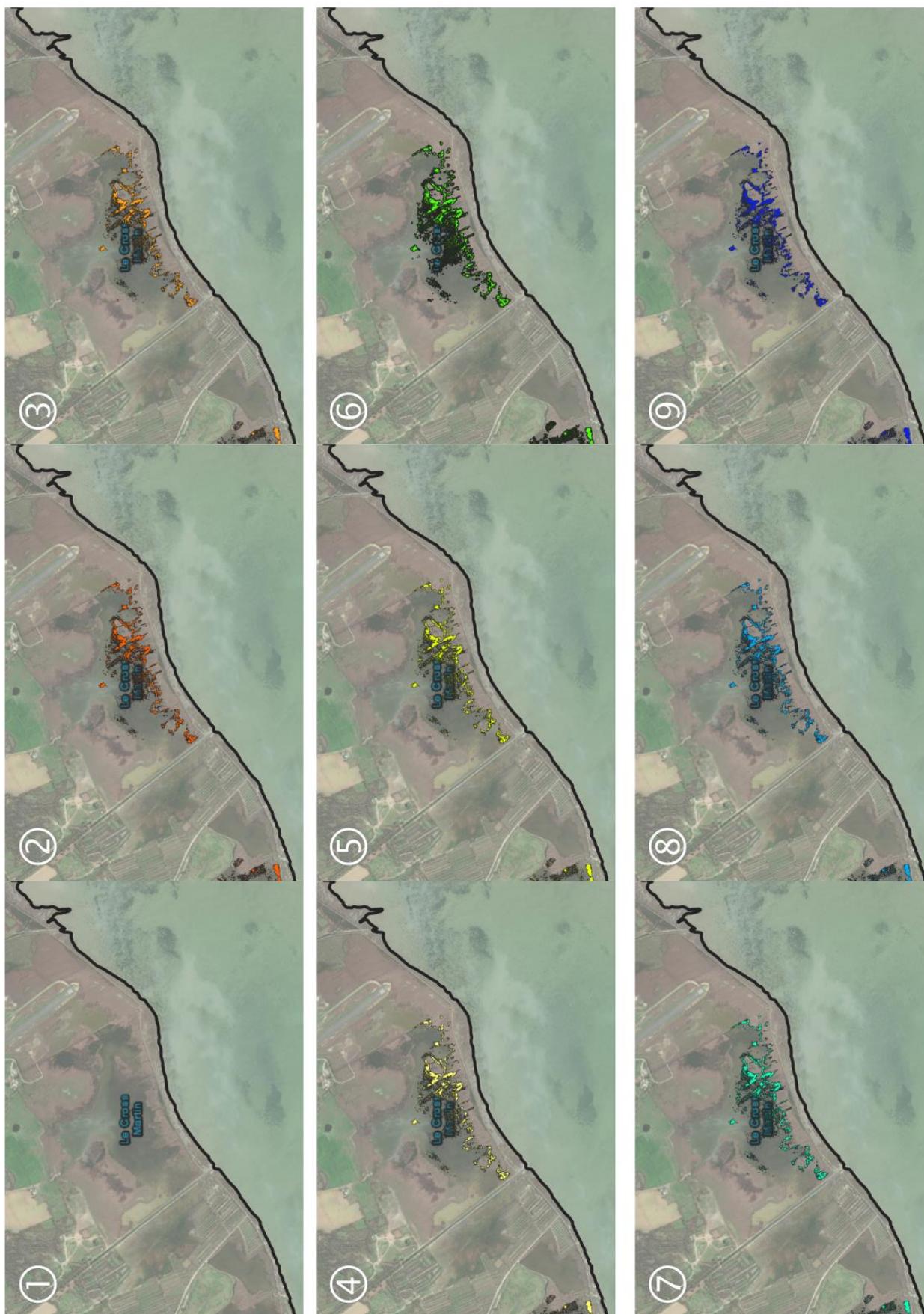
**Roselière Marais de Pagnol - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ② récurrent 2030-2050 (+0,7 m NGF) qui la recouvre dans sa totalité. Le premier scénario la submergeant de manière permanente est le ③ 2100 (+0,8 m NGF) dans sa totalité.



**N°20 – Cros-Martin**



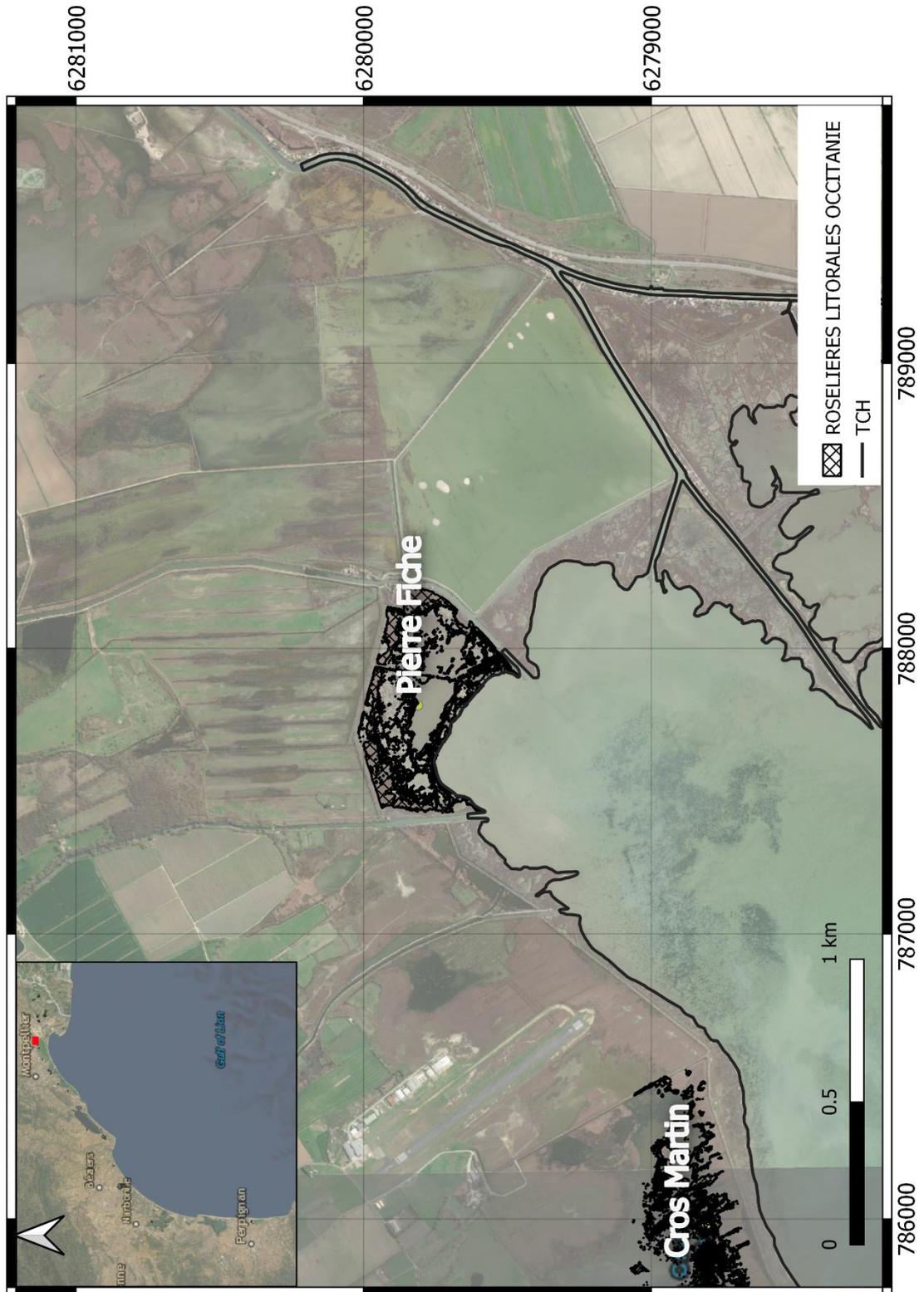


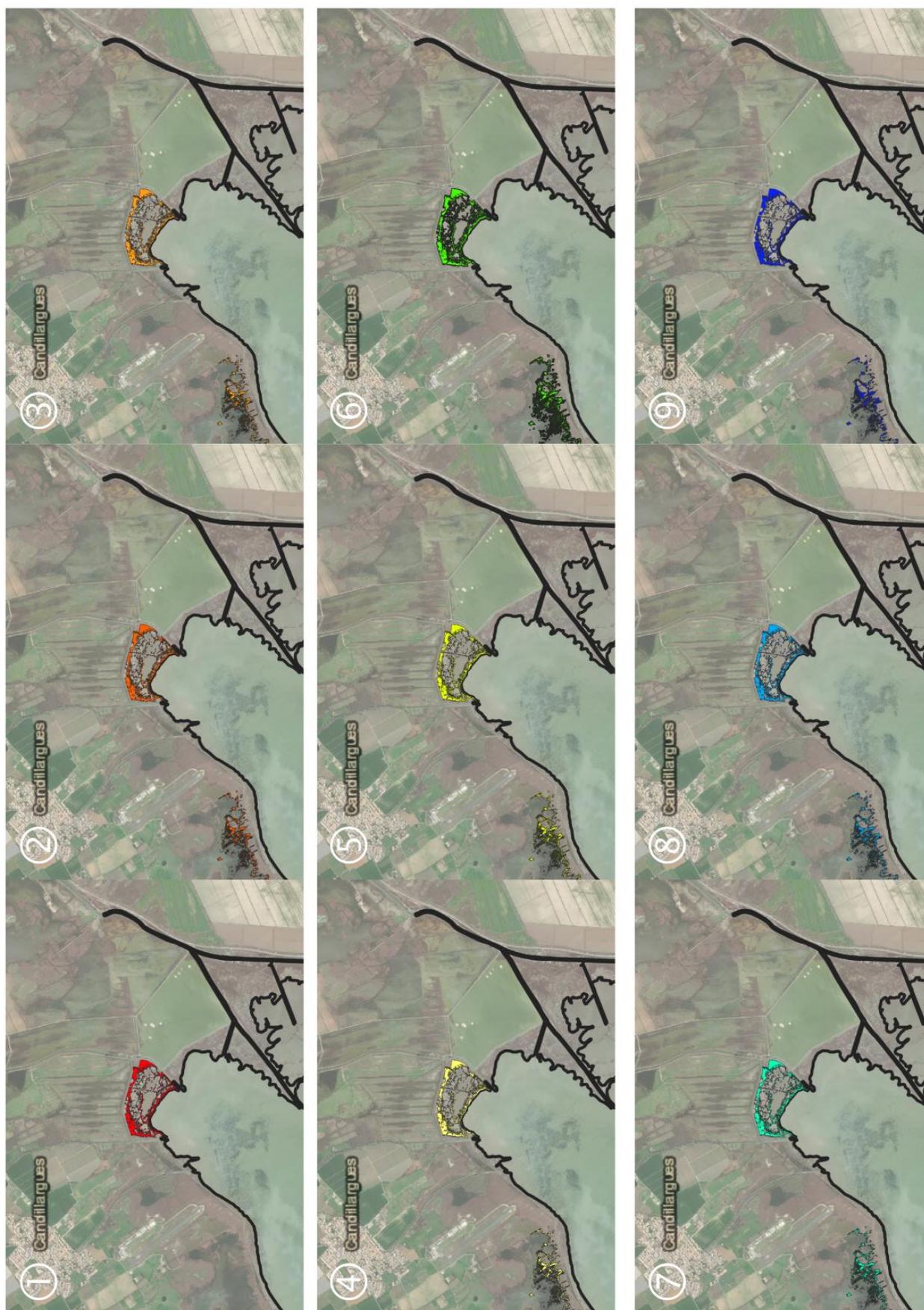
**Roselière Cros-Martin - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ② récurrent 2030-2050 (+0,7 m NGF) qui la recouvre dans sa totalité. Le scénario ③ 2100 (+0,8 m NGF) la submerge de manière permanente et dans sa totalité.



**N°21 – Pierre Fêche**



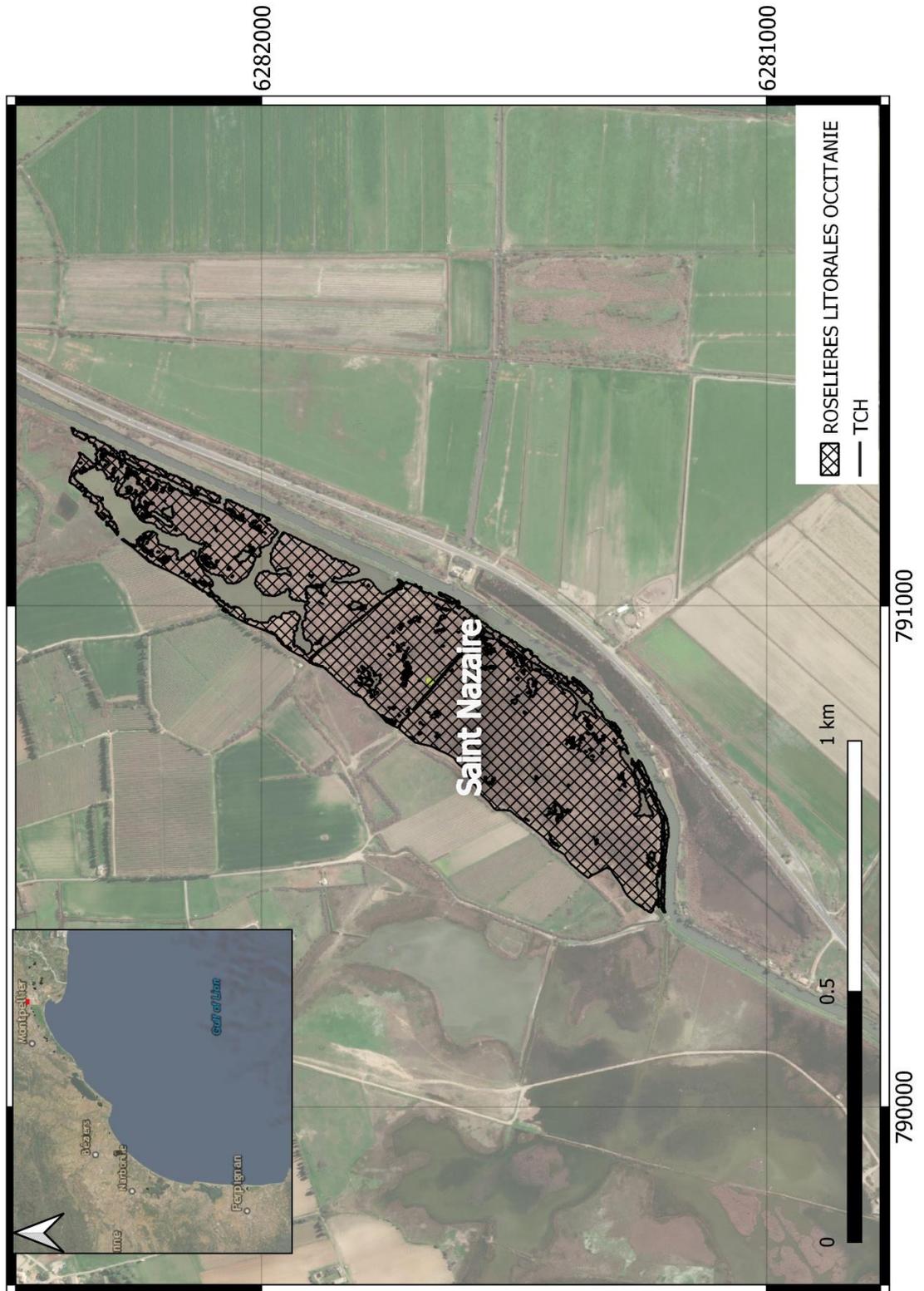


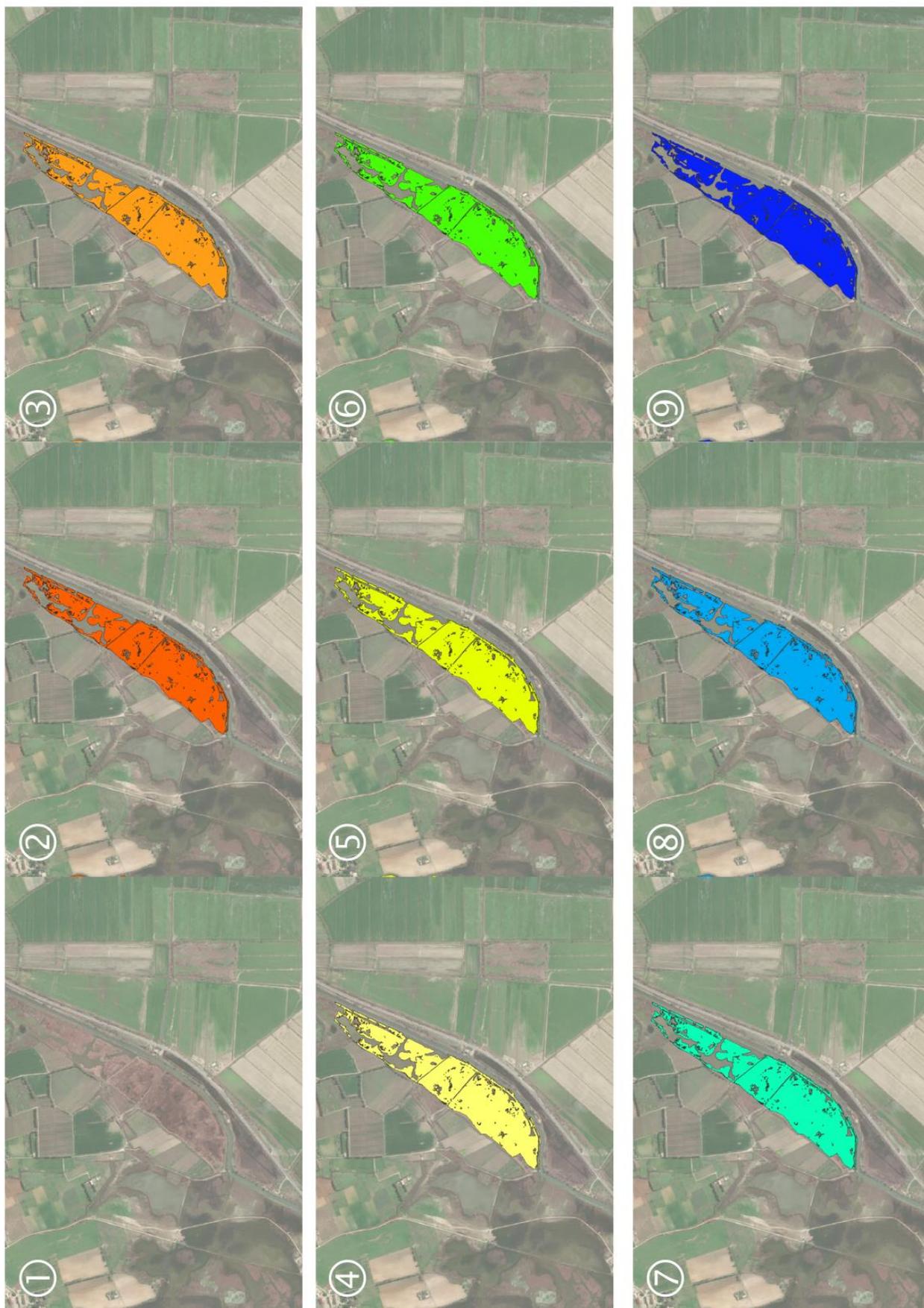
**Roselière Pierre Fiche - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ① 2030-2050 (+0,4 m NGF). Il s'agit d'une submersion permanente qui la recouvre déjà à 99%.



**N°22 – Saint-Nazaire (étang de l’Or)**





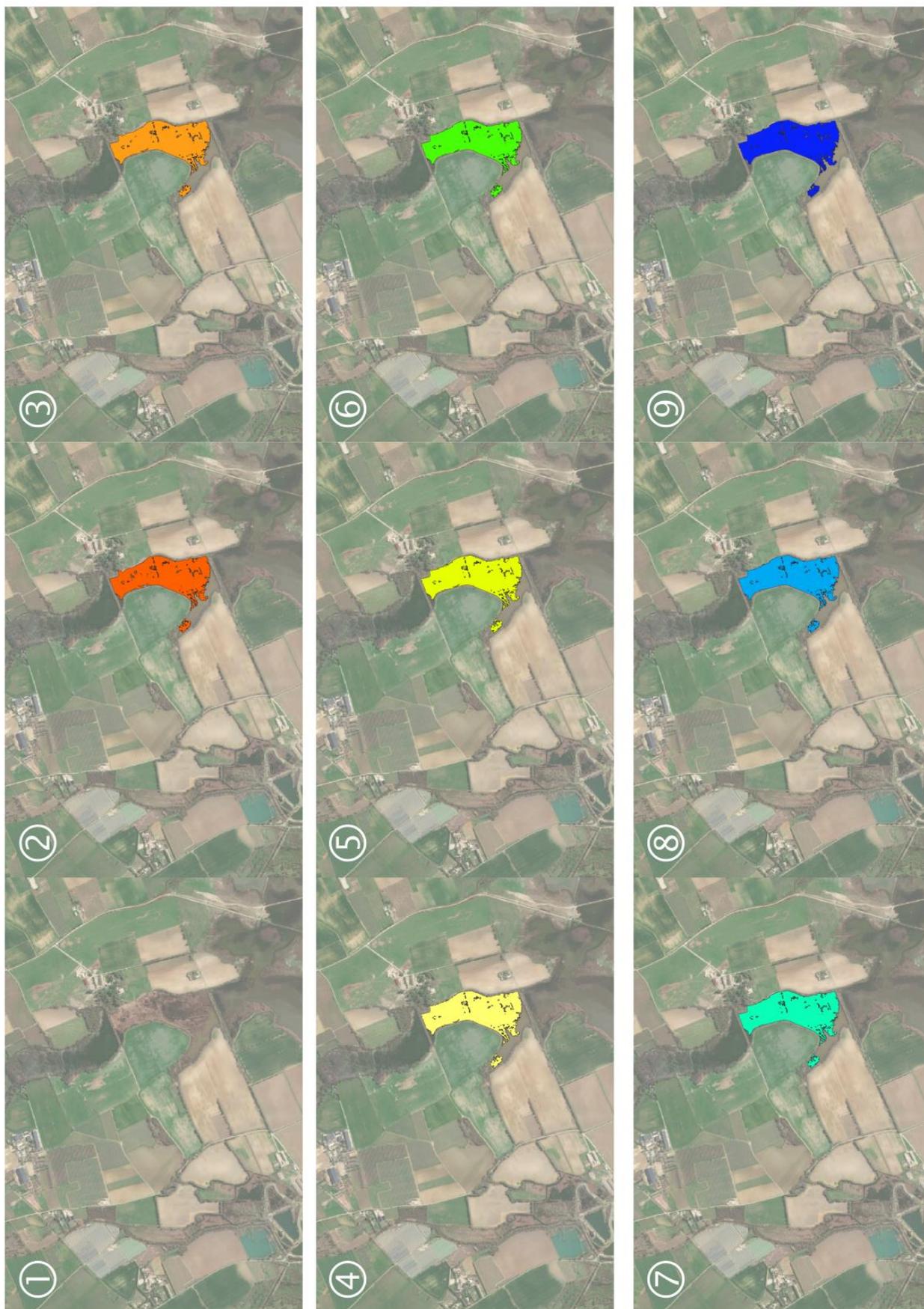
**Roselière Saint-Nazaire (étang de l'Or) - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ② récurrent 2030-2050 (+0,7 m NGF). Pour ce scénario la roselière est recouverte dans sa quasi-totalité (99,5%). Le premier scénario la recouvrant de manière permanente est le ③ (2100, +0,8 m NGF). A cette échéance la roselière est submergée à 100%.



**N°23 – Benezet (étang de l'Or)**





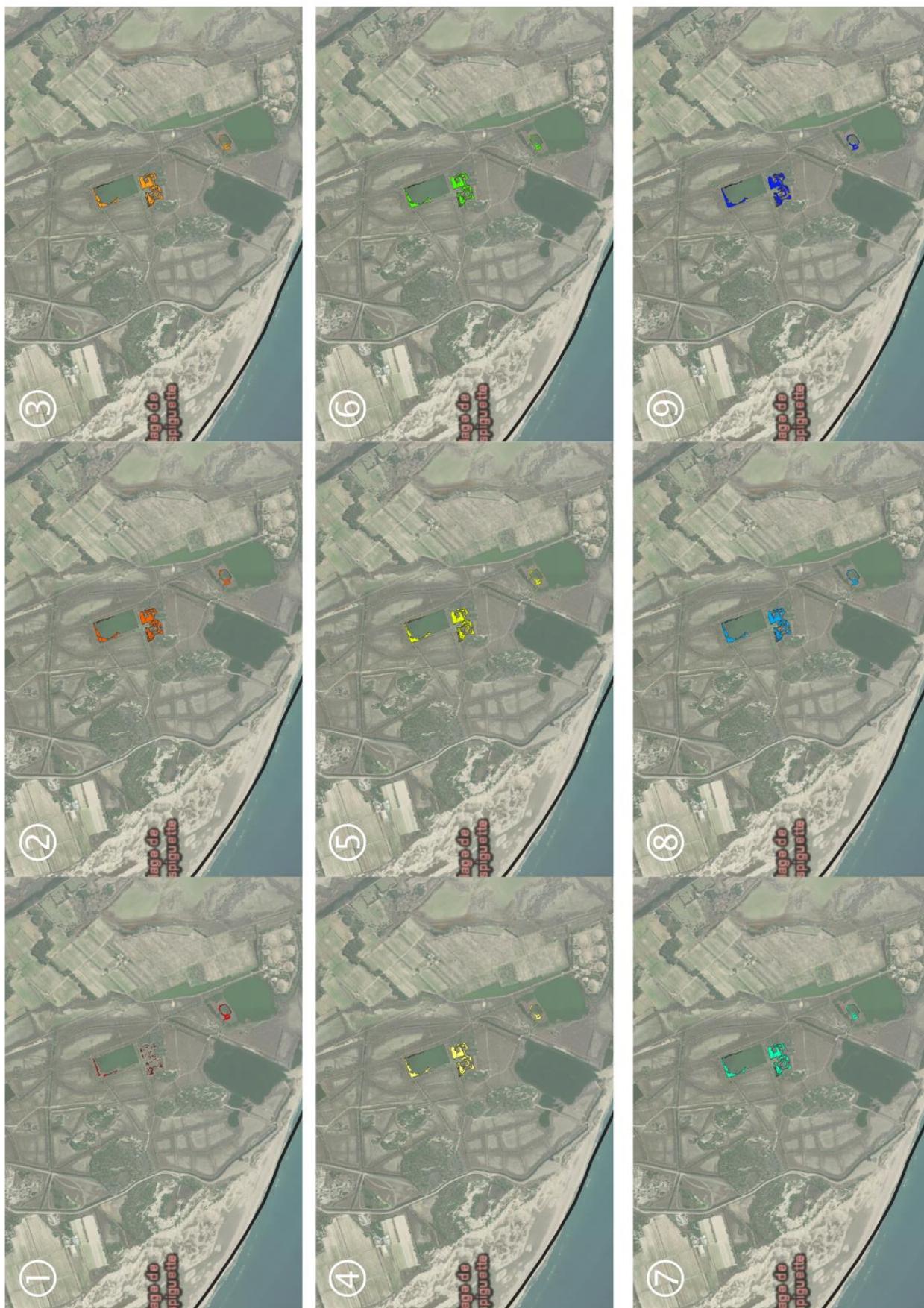
**Roselière Benezet (étang de l'Or) - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ② récurrent 2030-2050 (+0,7 m NGF). Pour ce scénario la roselière est recouverte dans sa quasi-totalité (98%). Le premier scénario la recouvrant de manière permanente est le ③ (2100, +0,8 m NGF). A cette échéance la roselière est submergée à 99%.



**N°24 – Grau du Roi (Espiguette)**



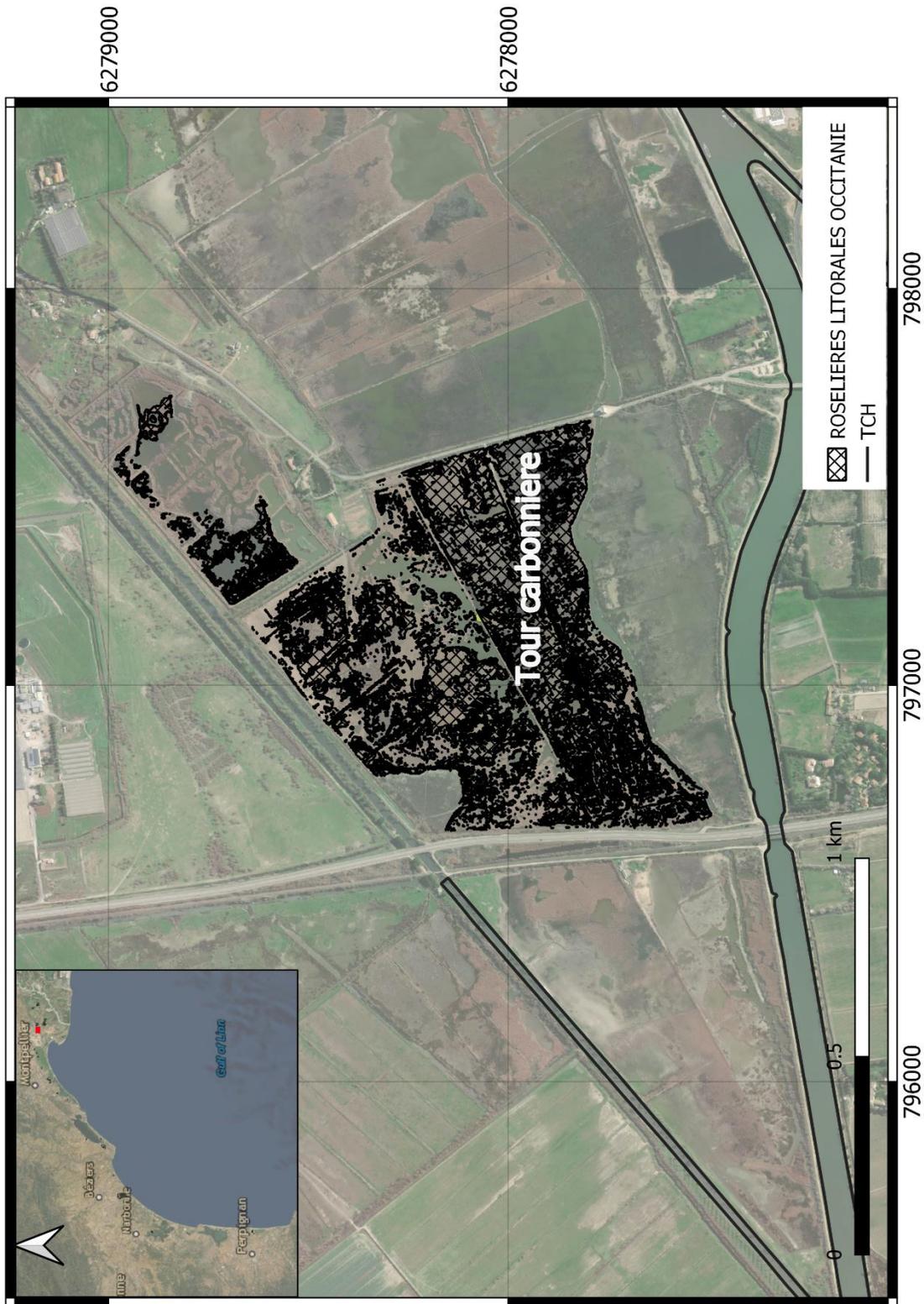


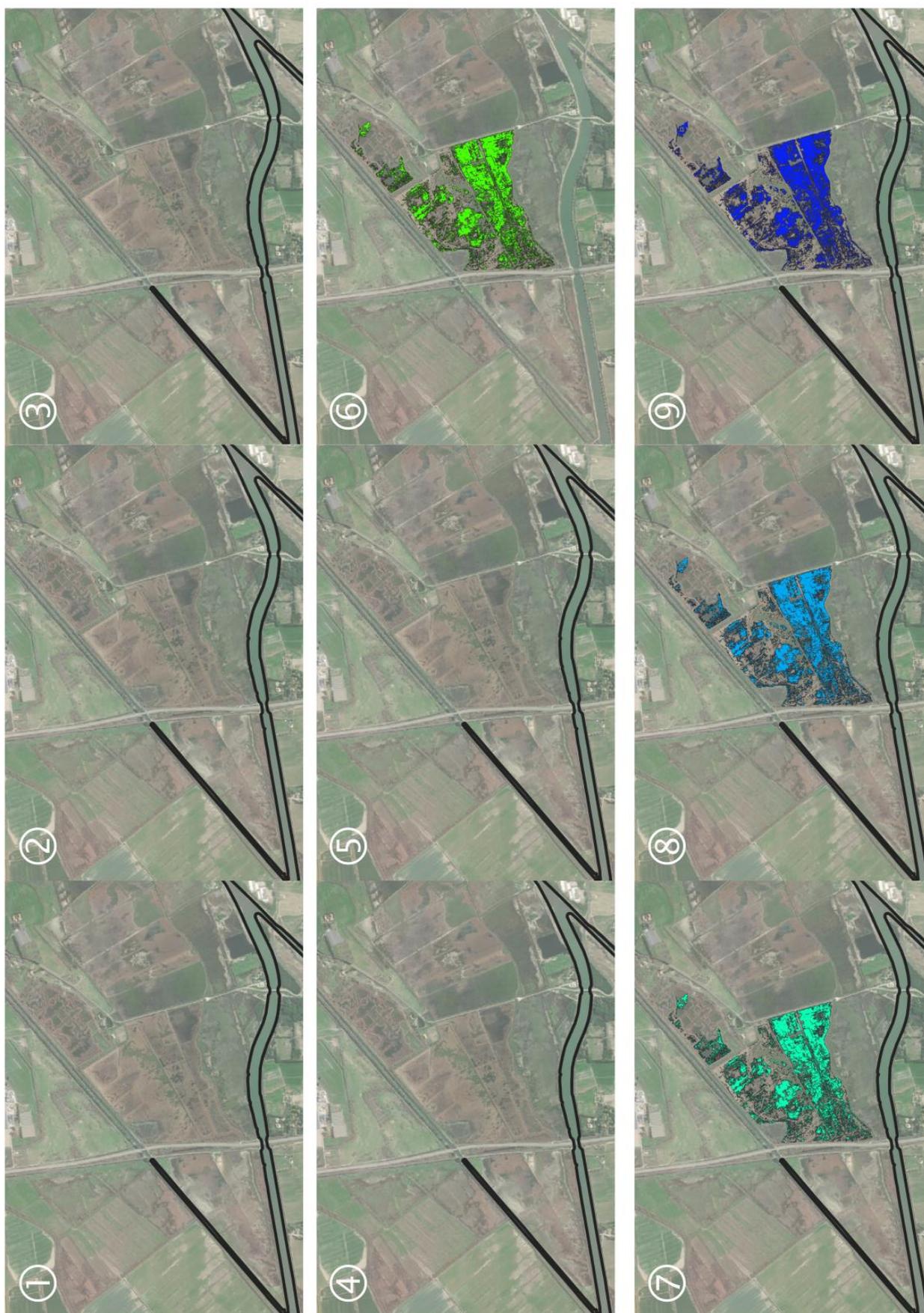
**Roselière Grau du Roi (Espiguette) - Evolution de la submersion (méthode « zone basse ») :**

Le premier scénario entraînant une submersion de la roselière est le scénario ① 2030-2050 (+0,4 m NGF). Il s'agit d'une submersion permanente qui la recouvre à 25%. Dès le scénario ② 2030-2050 récurrent (+0,7 m NGF) la quasi-totalité de la roselière est submergée (97%). Le scénario ③ 2100 (+0,8 m NGF) la recouvre de manière permanente dans sa totalité.



**N°25 – Tour Carbonnière**





**Roselière Tour Carbonnière - Evolution de la submersion :**

La roselière n'est atteinte par aucun scénario de submersion permanente. Le premier scénario impactant la roselière est le © 2100+ pour un événement récurrent (+1,5 m NGF)\_. La totalité de la roselière est cependant recouverte pour ce scénario. Notons qu'à une échéance plus proche 2030-2050, le scénario ⑦ exceptionnel (+2 m NGF) la submerge totalement.



**N°26 – Mahistre et Musette**



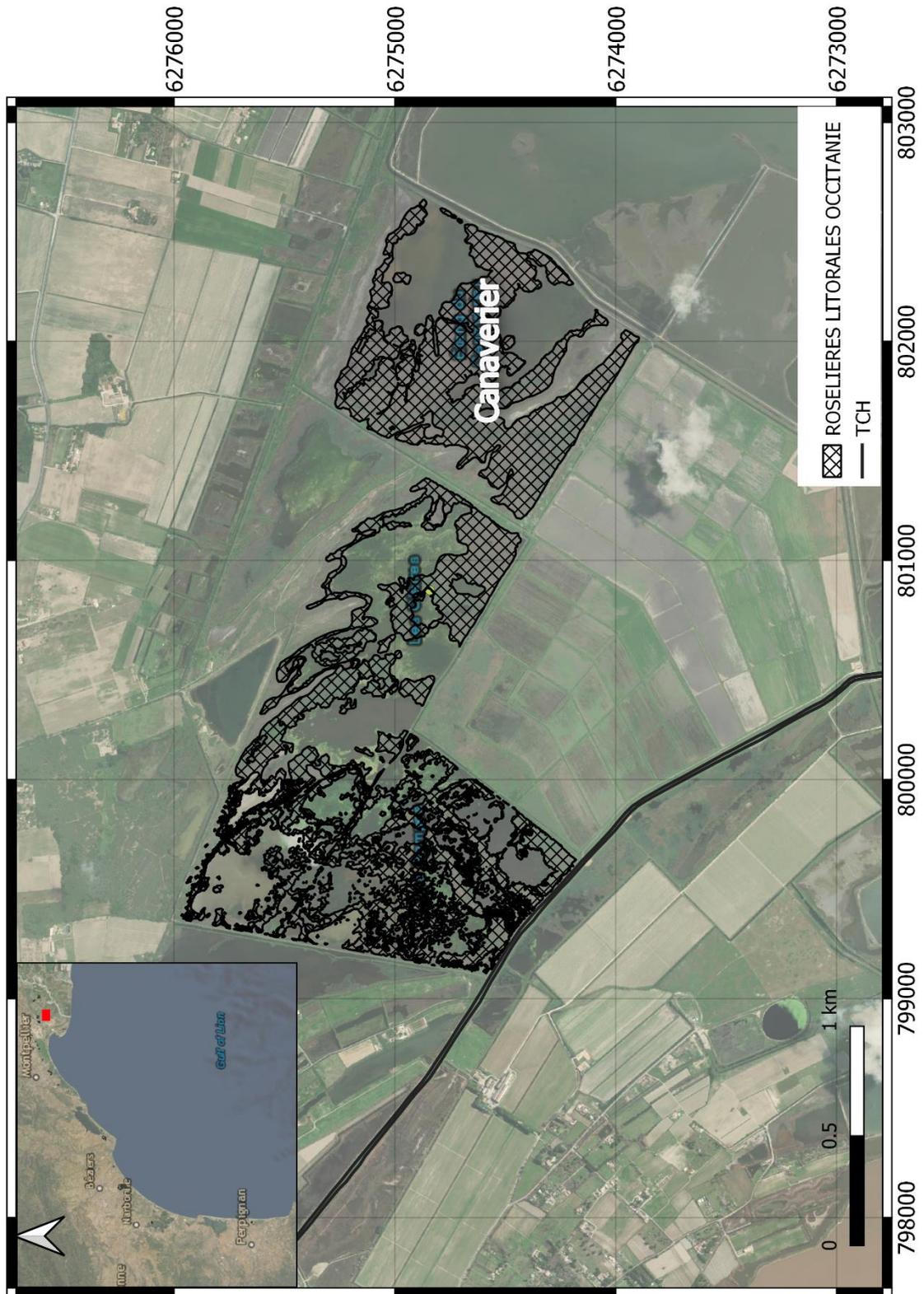


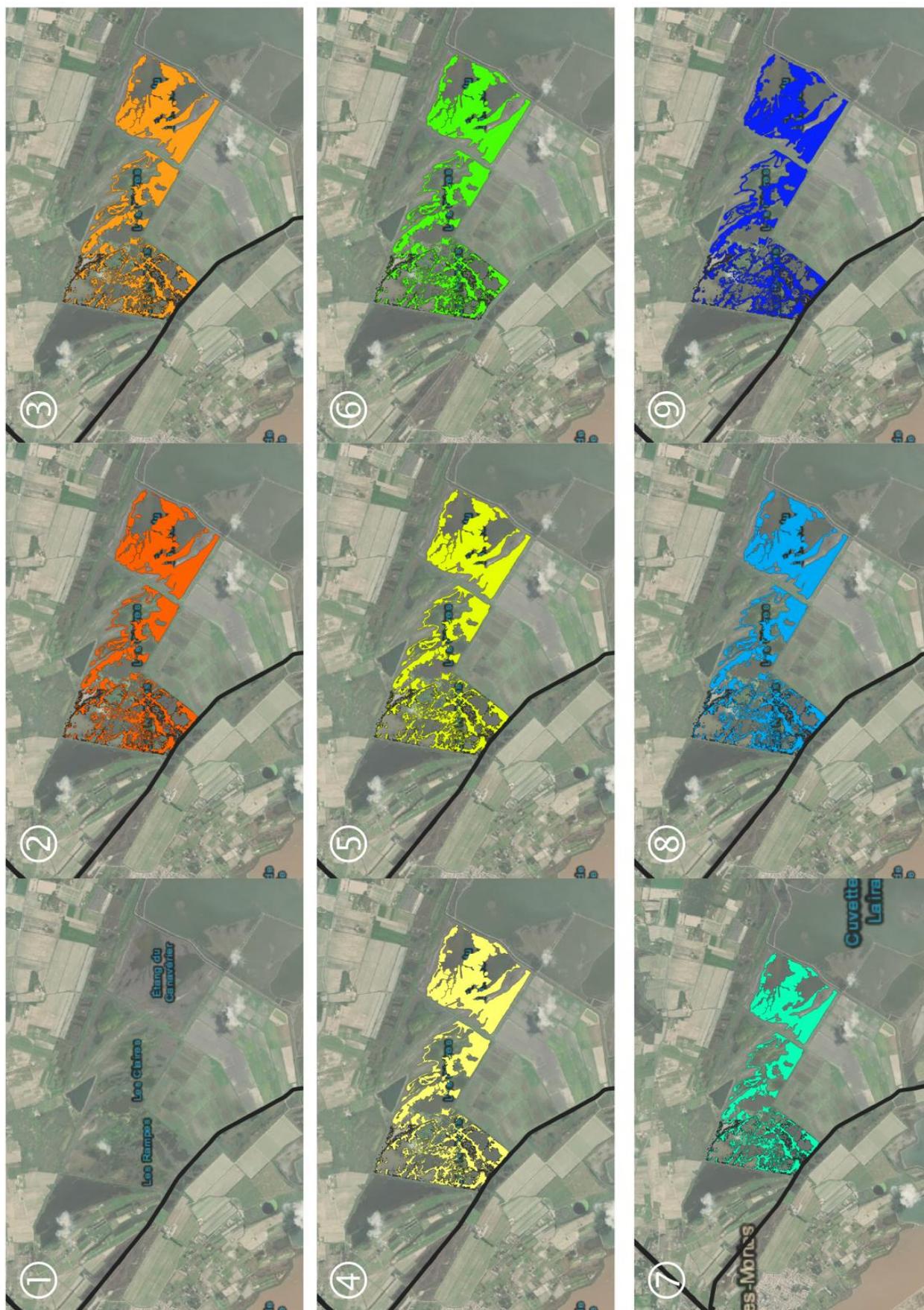
**Roselière Mahistre et Musette - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario impactant la roselière est le ③ 2100 (+0,8 m NGF). A cette échéance, la roselière est submergée de manière permanente pour 29% de sa surface (partie au nord du canal du Rhône à Sète). A cette même échéance, un évènement récurrent suffit à submerger la totalité de la roselière (scénario ④ 2100 récurrent, +1,1 m NGF). A compter du scénario ⑤ 2100+ (+1,2 m NGF) la totalité de la roselière est submergée de manière permanente.



**N°27 – Canavérier**





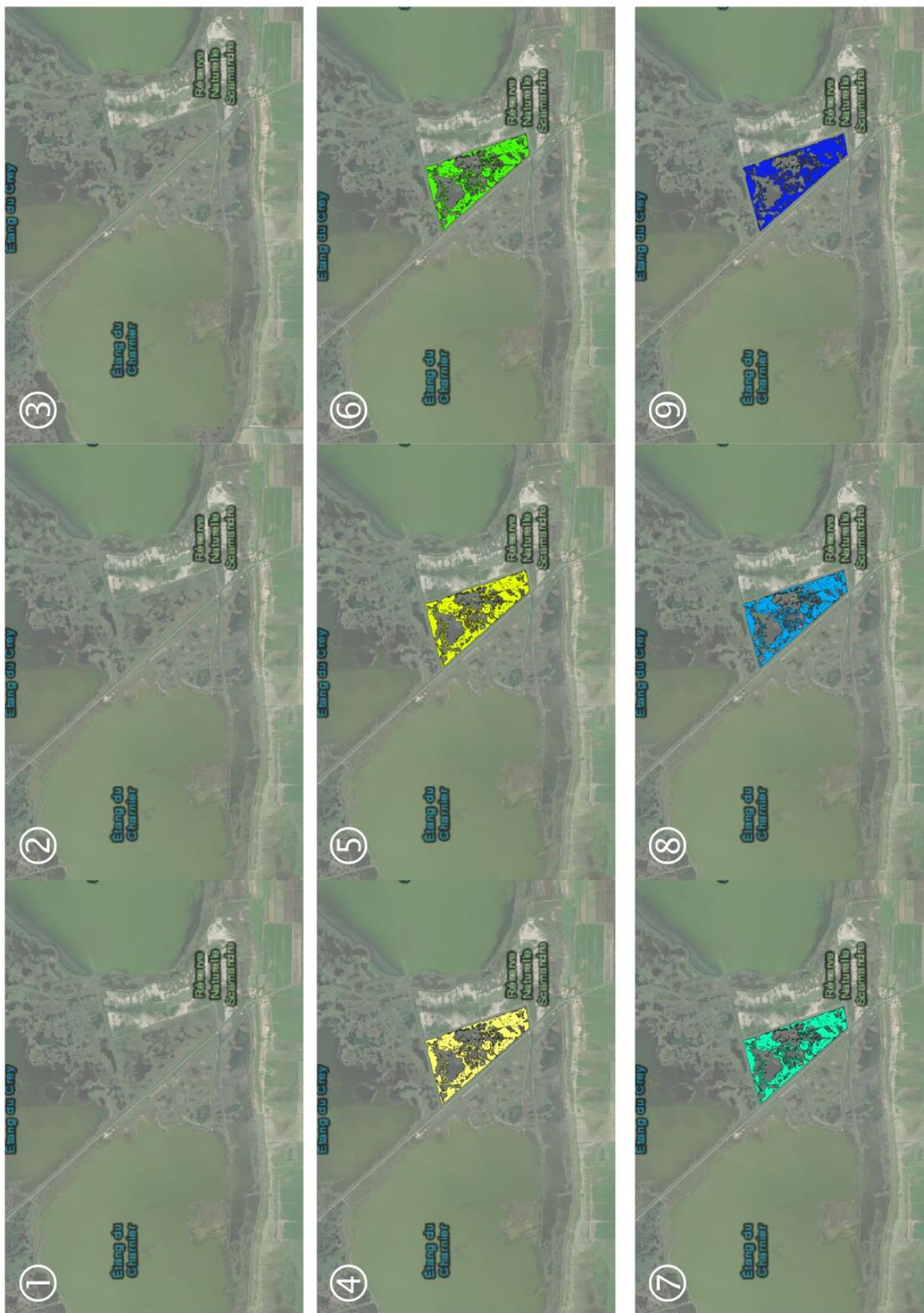
**Roselière Canavérier - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario de submersion atteignant la roselière est le scénario ② 2030-2050 récurrent (+0,7 m NGF). Il impacte les 100% de la surface de la roselière. Elle est submergée dans sa totalité de manière permanente à l'échéance 2100 pour le scénario ③ (+0,8 m NGF).



**N°28 – Bouvau (Scamandre)**



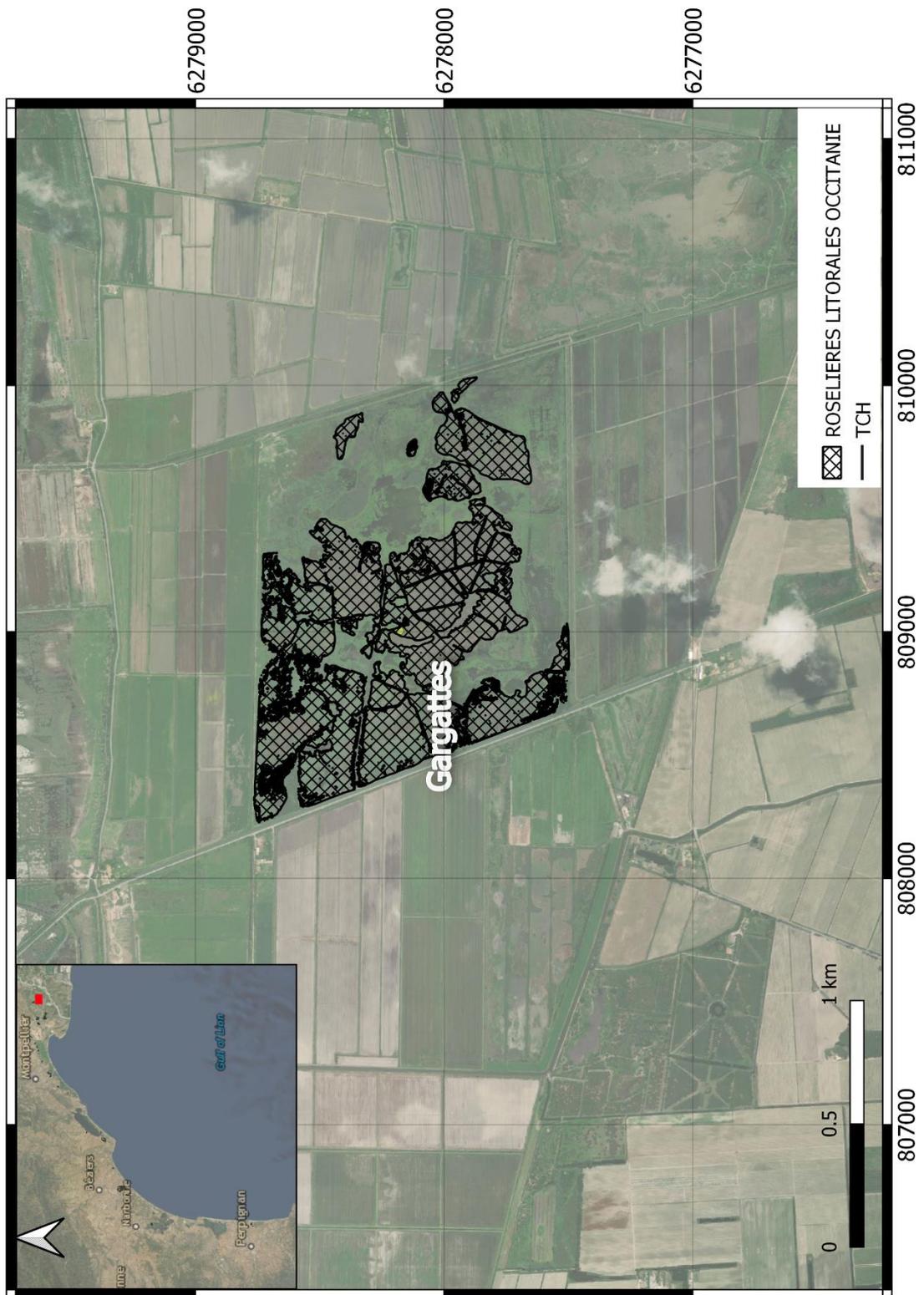


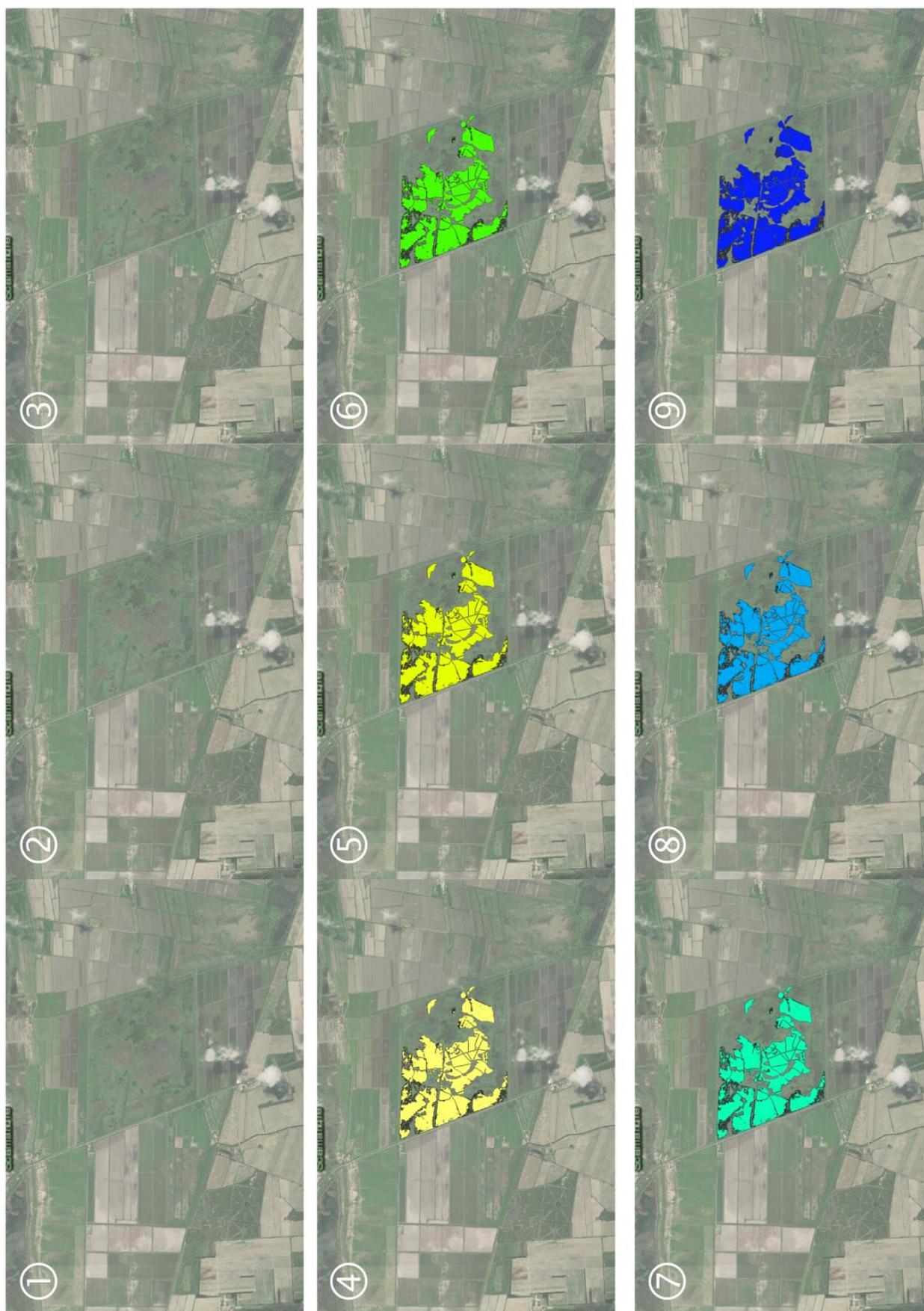
**Roselière Bouvau (Scamandre) - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario de submersion atteignant la roselière est le scénario ④ 2100 récurrent (+1,1 m NGF), pour lequel la totalité de la surface de la roselière est recouverte. Elle est submergée de manière permanente et dans sa totalité par le scénario ⑤ 2100+ (+1,2 m NGF).



**N°29 – Gargattes**





**Roselière Gargattes - Evolution de la submersion :**

Le premier scénario de submersion atteignant la roselière est le scénario ④ 2100 récurrent (+1,1 m NGF), pour lequel la totalité de la surface de la roselière est recouverte. Elle est submergée de manière permanente et dans sa totalité par le scénario ⑤ 2100+ (+1,2 m NGF).



Géosciences pour une Terre durable

**brgm**

**Centre scientifique et technique**

3, avenue Claude-Guillemin  
BP 36009

45060 - Orléans Cedex 2 - France

Tél. : 02 38 64 34 34 - [www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)

**Direction régionale Occitanie**

1039 rue de Pinville  
34000 - Montpellier

France

Tél. : 04 67 15 79 80