Suivi de l'herbier de posidonie

(*Posidonia oceanica*)

au-devant de la plage de La Capte

Avril 2015

GIS POSIDONIE

Hyères
LES PALMIERS

Suivi de l'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) au-devant de la plage de La Capte

Commande :
Mairie d'Hyères les Palmiers, Service Eau Littoral Propreté - 12 avenue Joseph Clotis – BP 709 – 83412 Hyères Cedex. Tél. : 04 94 00 78 50 Fax : 04 94 00 78 14.

Réalisation :
GIS POSIDONIE, Groupement d'Intérêt Scientifique pour l'environnement marin – Mediterranean Institute of Oceanography (MIO), Case 901 - Campus de Luminy - 13 288 MARSEILLE Cedex 9. Tel. : 04 86 09 05 76. Fax. : 04 86 09 06 43.

Responsable scientifique :
Professeur Charles-François BOUDOURESQUE, Président du GIS Posidonie, Président du Comité Scientifique du Parc National de Port-Cros, Professeur Emérite à l'Université d'Aix-Marseille.

Responsables de l'étude :
Denis BONHOMME et Elodie ROUANET

Participants aux missions de terrain :
Denis BONHOMME, Elodie ROUANET, Patrick ASTRUCH et Laureline CHASSAING

Réalisation de la cartographie :
Denis BONHOMME

Rédaction :
Denis BONHOMME et Elodie ROUANET

Crédits photographiques (sauf mention contraire) :
Patrick ASTRUCH

Dossier 1416

Ce document doit être cité sous la forme suivante :

BONHOMME D., ROUANET E., ASTRUCH P., CHASSAING L., 2015. Suivi de l'herbier de posidonie (*Posidonia oceanica*) au-devant de la plage de La Capte. *Contrat Mairie de Hyères les Palmiers & GIS Posidonie. GIS Posidonie publ.*, Fr., 1-48.

Sommaire

1. Introduction 6
1.1. Contexte et objectifs de l'étude 6
1.2. L'herbier à *Posidonia oceanica* 8

2. Matériel et méthode 11
2.1. Cartographie de la limite supérieure de l'herbier 11
2.1.1. Comparaison des imageries aériennes du secteur de La Capte 11
2.1.2. Suivi par parcours en GPS tracté 31
2.2. Paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie 32
2.2.1. Densité de faisceaux 32
2.2.2. Déchaussement 34
2.2.3. Orientation des rhizomes 34

3. Résultats 35
3.1. Cartographie de la limite supérieure de l'herbier de posidonie 35
3.2. Paramètres de vitalité 38

4. Discussion et conclusion 44

5. Références bibliographiques 46

1. Introduction

1.1. Contexte et objectifs de l'étude

La plage de La Capte se situe sur la face Est du tombolo de la presqu'île de Giens, au Sud du port de La Capte, dans la commune d'Hyères les Palmiers.

La physionomie de la plage de La Capte a considérablement changé au cours du siècle dernier. Le port de La Capte construit dans les années 1950 modifie le transfert naturel des sédiments. Les aménagements artificiels perpendiculaires au courant de dérive allant du Nord vers le Sud de la presqu'île entrainant alors un déséquilibre sédimentaire avec une accumulation de sédiments au Nord du port et un déficit sédimentaire au Sud. L'analyse de photographies aériennes de 1950, 1972, 1998 et 2003 par Gratiot *et al*. (2006b ; Figure 1) montre un recul probable de la limite supérieure de l'herbier de posidonie au Sud et à l'Est du port avec une importante fragmentation. Par contre, plus au Sud, la limite supérieure de l'herbier ne montre pas de modifications majeures depuis les années 1950 (date de construction du port de La Capte).

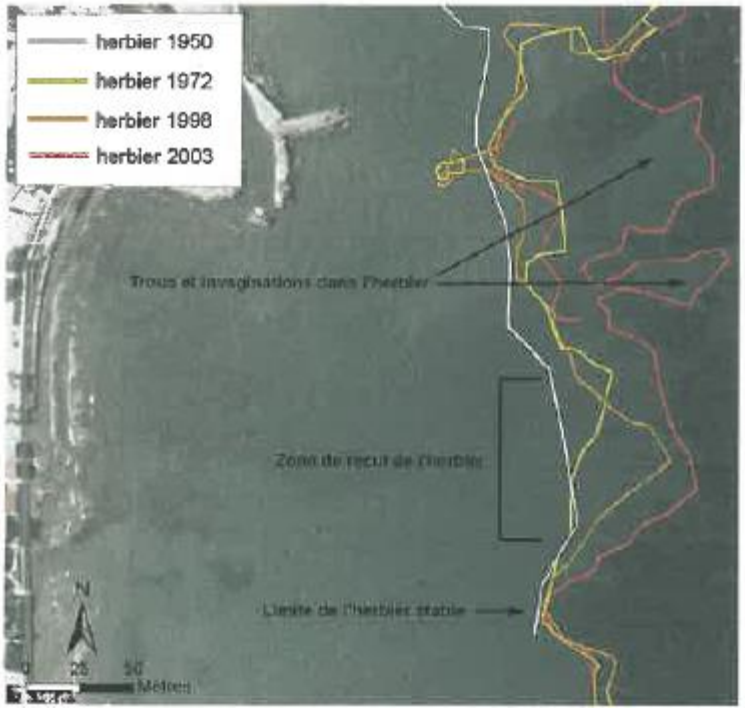


Figure 1. Evolution probable de la limite supérieure de l'herbier de posidonie au niveau de la plage de La Capte estimée à partir des photographies aériennes prises en 1950, 1972, 1998 et 2003 (d'après Gratiot *et al.*, 2006b ; source IGN).

La plage de La Capte présente des signes d'érosion au Sud du port, sur environ 300 m alors qu'au Nord on constate une zone d'accrétion importante sur environ 400 m. Aussi, la mairie d'Hyères recharge en sédiments la plage située juste au Sud du port avec du sédiment

provenant des pompages réalisés au Nord. Par ailleurs, des atténuateurs de houle en géotextile ont été immergés au-devant de la plage afin de diminuer et/ou ralentir les départs de sédiments. Ces tubes de géotextile mesurent 140 à 200 m de long et ont été installés en 2008 et en 2012.

En 2006, une cartographie de la limite supérieure de l'herbier de posidonie a été réalisée par Gratiot *et al*.. Les auteurs ont relevé une fragmentation de l'herbier avec de nombreuses invaginations et intermattes en arrière des taches d'herbier les plus proches de la plage. L'hydrodynamisme très fort dans cette zone conduit à d'importants remaniements sédimentaires qui ont un impact sur la pérennité de l'herbier. Toutefois les auteurs soulignent la présence de nombreux rhizomes plagiotropes (croissance horizontale) dirigés vers la plage qui témoignent d'une dynamique de développement favorable de l'herbier vers la plage. Néanmoins, ce type de croissance n'est observé que dans la zone la plus éloignée du rivage, c'est-à-dire la plus profonde (> 5m) où la turbidité est moins importante.

En 2007, Gratiot et Mannoni ont installé des balises fixes sous-marines avant la pose des atténuateurs de houle en geotextile. Ces balises géoréférencées permettent de suivre l'évolution temporelle de l'état de vitalité de l'herbier de posidonie et d'évaluer les modifications induites par l'installation de ces atténuateurs. Ainsi huit balises ont été immergées sur 4 sites (2 balises par site) dont 1 site témoin au Nord du port et 3 sites face aux atténuateurs de houle. Des mesures de densité de faisceaux ont été réalisées ainsi qu'une estimation de l'orientation des rhizomes (plagiotropes/orthotropes) et du déchaussement.

De 2008 à 2010, un programme de surveillance de l'impact environnemental de l'installation des tubes géotextiles et du rechargement en sable a été mis en place avec la collaboration du CEREGE (Gratiot et de Vaugelas 2009a, 2009b ; Antonioli *et al*., 2010). Au cours des 3 années du suivi, la vitalité de l'herbier a été suivie au niveau des balises géoréférencées ainsi que 2 transects permanents. Par ailleurs, des explorations de nouvelles méthodes acoustiques pour la cartographie sous-marine ont été réalisées ; utilisations du sonar StarFish, de l'ADCP et de télémétrie acoustique avec un Aquamètre D100. Les tests de télémétrie acoustique avec un Aquamètre ont révélé des limites de cette méthode notamment en termes de précision des données. En effet, le télémètre acoustique offre une précision décimétrique alors que la posidonie n'a qu'une croissance centimétrique. Les évolutions de croissance et/ou de régression de l'herbier ne peuvent donc pas être appréciées finement comme le nécessite ce type d'étude. Par la suite, cette méthode de cartographie n'a pas été réutilisée.

La mairie d'Hyères les Palmiers a mandaté le GIS Posidonie pour actualiser les données d'observations de l'herbier de posidonie à partir de BD ORTHO (photographies orthonormées), de parcours GPS et de relevés de certains paramètres de vitalité de la plante.

1.2. L'herbier à *Posidonia oceanica*

Posidonia oceanica (L) Delile est une magnoliophyte endémique stricte de la Méditerranée, où elle constitue de vastes prairies sous-marines, appelées herbiers, depuis la surface de l'eau jusqu'à 38 m de profondeur, selon la transparence des eaux. L'herbier de posidonie est considéré comme l'un des écosystèmes les plus importants, voire l'écosystème-pivot des fonds littoraux méditerranéens au même titre que la forêt en milieu terrestre (Molinier et Picard, 1952 ; Boudouresque et Meinesz, 1982).

La posidonie est une plante dont les feuilles mesurent généralement de 40 à 80 cm de long et 1 cm de large ; elles sont regroupées en faisceaux de 4 à 8 feuilles environ, qui tombent surtout à l'automne. Chacun de ces faisceaux de feuilles est situé à l'apex d'un axe appelé rhizome (tige souterraine), qui croît horizontalement (rhizome plagiotrope) ou verticalement (rhizome orthotrope). L'herbier édifie au cours du temps un enchevêtrement complexe et extrêmement compact de rhizomes et de racines, dont les interstices sont comblés par du sédiment, formant la "matte". Ces mattes stabilisent les fonds meubles ; elles peuvent atteindre une épaisseur de plus de 8 m dans le Var. Les rhizomes, les écailles et les racines sont peu putrescibles et se conservent donc, à l'intérieur de la matte, pendant plusieurs siècles ou millénaires (Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983). Lorsque l'herbier se dégrade, il reste généralement des fonds de matte morte plus ou moins couverts de sédiments. Cependant, il faut noter que l'apparition de zones de matte morte peut avoir une origine naturelle comme par exemple l'hydrodynamisme. Dans la littérature, il n'est pas rare que la présence de matte morte ait été interprétée, à tort, comme le signe univoque d'un impact de l'homme.

La formation des herbiers, leur dynamique et leur densité dépendent étroitement du milieu environnant : nature du substrat sur lequel les posidonies se fixent, hydrodynamisme, courant, profondeur, qualité des eaux (Boudouresque *et al*., 2006). Les herbiers de posidonie tolèrent des variations de température et d'hydrodynamisme d'amplitude relativement grande. Ils craignent, par contre, la dessalure ; il leur faut généralement une salinité comprise entre 36 et 39 PSU. Les herbiers de posidonie ne sont jamais rencontrés ni dans les lagunes, ni à l'ouverture des estuaires.

<u>Importance écologique de l'herbier de posidonie</u>

L'importance de l'herbier de posidonie est maintenant bien connue et documentée, ceci à plusieurs égards :

- l'herbier de posidonie représente un pôle de biodiversité important : 20 à 25% des espèces animales et végétales connues en Méditerranée y sont observées, soit plusieurs milliers d'espèces (Boudouresque *et al*., 1994). Ces espèces sont présentes de façon permanente ou simplement occasionnelle et utilisent l'herbier comme zone de nutrition, de reproduction des adultes, de recrutement et de développement pour les

juvéniles et comme abri (nocturne ou diurne). La biodiversité est d'autant plus importante dans l'herbier que sa complexité structurale est élevée (longues feuilles, alternance herbier/roches, présence de structures érosives - tombants de matte, intermattes – et édification d'une matte) ;

- l'herbier joue un rôle dans la qualité des eaux littorales grâce à une importante production d'oxygène (jusqu'à 14 l/j/m² ; Bay, 1978) ; et sur leur transparence par le piégeage des particules en suspension (Blanc et Jeudy de Grissac, 1984) ;
- la production primaire de biomasse végétale (à la fois celle de la posidonie elle-même et celle des épibiontes des feuilles) est très importante (Libes, 1984), comparable à celle d'une forêt tropicale ombrophile, soit plus de 20 tonnes/ha/an. Une grande partie de cette production (près de 40%) est exportée vers d'autres milieux côtiers et profonds sous forme de litière (feuilles mortes) (Boudouresque *et al.,* 1994 ; Rico-Raimondino, 1995 ; Fourt et Goujard, 2011). L'herbier de posidonie est un écosystème unique, car il juxtapose une production végétale à recyclage lent (la posidonie) et rapide (macrophytes épibiontes), ce qui explique son exceptionnelle richesse (Boudouresque *et al.,* 2006). La production de biomasse animale est également très importante dans l'herbier (Kikuchi et Pérès, 1973 ; Kikuchi, 1980 ; Francour, 1990). Cette formidable production végétale et animale a pour effet d'attirer et de concentrer une faune variée (Bell et Harmelin-Vivien, 1982 ; Francour, 1990 ; Ourgaud *et al*., 2014) ;
- l'herbier se trouve à la base de nombreuses chaînes alimentaires et constitue un lieu de frayère et de nurserie pour de nombreuses espèces animales qui y trouvent nourriture et protection (Ledoyer, 1968 ; Harmelin-Vivien, 1983), en particulier pour des poissons d'intérêt économique pour la pêche (Harmelin-Vivien *et al.,* 1995) ;
- l'herbier joue également un rôle fondamental dans la protection hydrodynamique de la frange côtière et des plages, par atténuation de 50% de la puissance des vagues, de la houle et des courants. Les fonds sableux sont ainsi stabilisés par la fixation des sédiments dans le lacis des rhizomes constituant la matte (Boudouresque et Jeudy de Grissac, 1983 ; Jeudy de Grissac, 1984 ; Jeudy de Grissac et Boudouresque, 1985). Sans cette protection contre l'érosion, le profil d'équilibre des rivages sableux serait fortement modifié. D'ailleurs, de nombreuses communes littorales sont confrontées au problème d'érosion des plages, suite à la régression des herbiers, situés au large, qui ne peuvent plus directement assumer ce rôle d'atténuation de l'hydrodynamisme. Des budgets conséquents sont ainsi annuellement consacrés par les communes à un apport régulier de sable pour compenser le lessivage systématique de leurs plages (Boudouresque *et al*., 2006).

Protection et règlementation

L'importance écologique indéniable a motivé des initiatives concrètes au niveau de la législation, visant à préserver les herbiers : Arrêté de protection de la posidonie (19 juillet 1988, J.O. du 09 août 1988), prise en considération de l'herbier de posidonie dans le décret

d'application (n 89.694 du 20 septembre 1989) de la "loi littoral" n86.2 du 3 janvier 1986 et dans le cadre de la conservation des habitats naturels (Directive Européenne "Habitats" du 21 mai 1992 - JOCE 92.43.CEE). Enfin, la posidonie apparaît dans les annexes de la Convention de Barcelone (adoptées en décembre 1995) et de la Convention de Berne (adoptées en février 1996) ; ces deux conventions ont été ratifiées par la France. De plus, les herbiers de magnoliophytes marines sont également pris en considération par l'Unesco, depuis la conférence de Rio en 1992.

2. Matériel et méthode

2.1. Cartographie de la limite supérieure de l'herbier

2.1.1. Comparaison des imageries aériennes du secteur de La Capte

La méthodologie mise en place pour cartographier la limite supérieure de l'herbier de posidonie à l'échelle de la zone permet de déceler les macros régressions de l'herbier (évolution linéaire de la limite supérieure de l'herbier au moins supérieure à 1 m) dans la période considérée (2003-2014). Les éventuelles progressions de l'herbier ne peuvent pas être mises en évidence avec cette méthode cartographique. En effet, l'herbier de posidonie présente une croissance horizontale de seulement quelques centimètres par an (Boudouresque *et al.*, 2006). Ceci reste en dessous du seuil possible de détection par cette méthode.

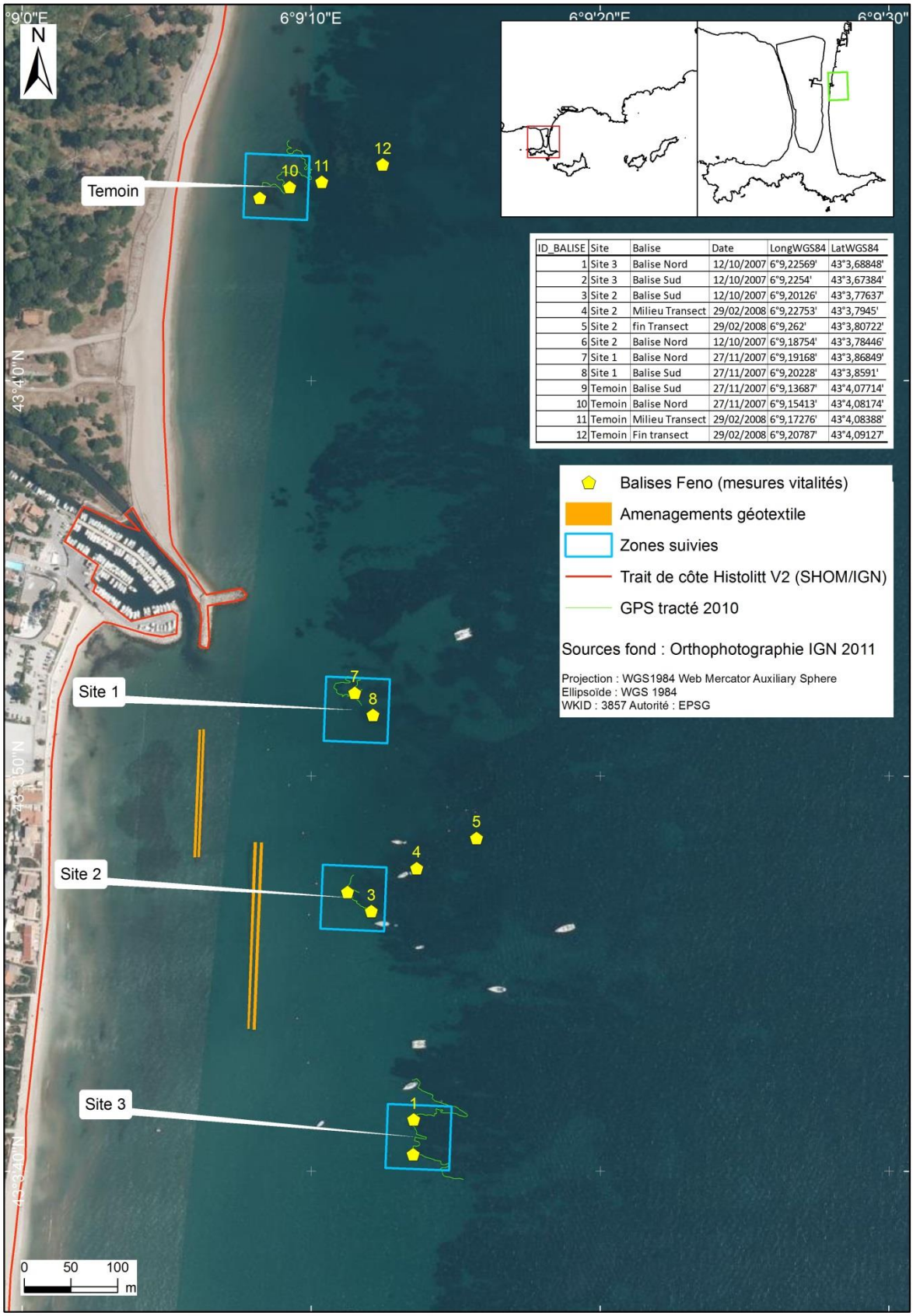
Pour cela, nous avons utilisé des imageries aériennes (orthophotographies, images satellites, etc.) disponibles sur la zone, à savoir pour :

- **2014** : utilisation des images prises en 2014 par le satellite civil français Spot 6. Satellite opéré par Airbus Defence&Space. Images de résolution 1.5 m sélectionnées et traitées par l'IGN et publié sur le site internet du géoportail (http://www.geoportail.gouv.fr/accueil) ;
- **2011** : utilisation des orthophotographies IGN de 2011 publiées sur le site internet du géoportail (http://www.geoportail.gouv.fr/accueil). Images de résolution 20 cm ;
- **2009** : utilisation des orthophotographies IGN de 2009, de résolution 50 cm ;
- **2003** : utilisation des orthophotographies IGN de 2003, de résolution 50 cm.

Sur l'ensemble de la zone, l'orthophotographie de 2011 offre à la fois une absence d'irisation et de réflectivité du soleil au niveau de la surface de la mer et une bonne visibilité de la colonne d'eau. Cette orthophotographie, de très bonne qualité, permet ainsi de visualiser aisément le contour de la limite supérieure de l'herbier sur l'ensemble des deux zones. Ce contour a été digitalisé sur SIG (Arc-GIS V10.2) avec précision à une échelle de 1/500ème. Cette digitalisation crée une couche SIG vectorielle linéaire qui peut se superposer à chacune des images de 2003, 2009 et 2011 couvrant la zone de La Capte (Figure 2 à Figure 18). L'imagerie pour 2014 n'est pas à ce jour disponible sur SIG mais consultable sur le géoportail (www. Geoportail.fr). Aussi, une approche bathymétrique à partir des données Litto3D (IGN/SHOM) a été utilisée.

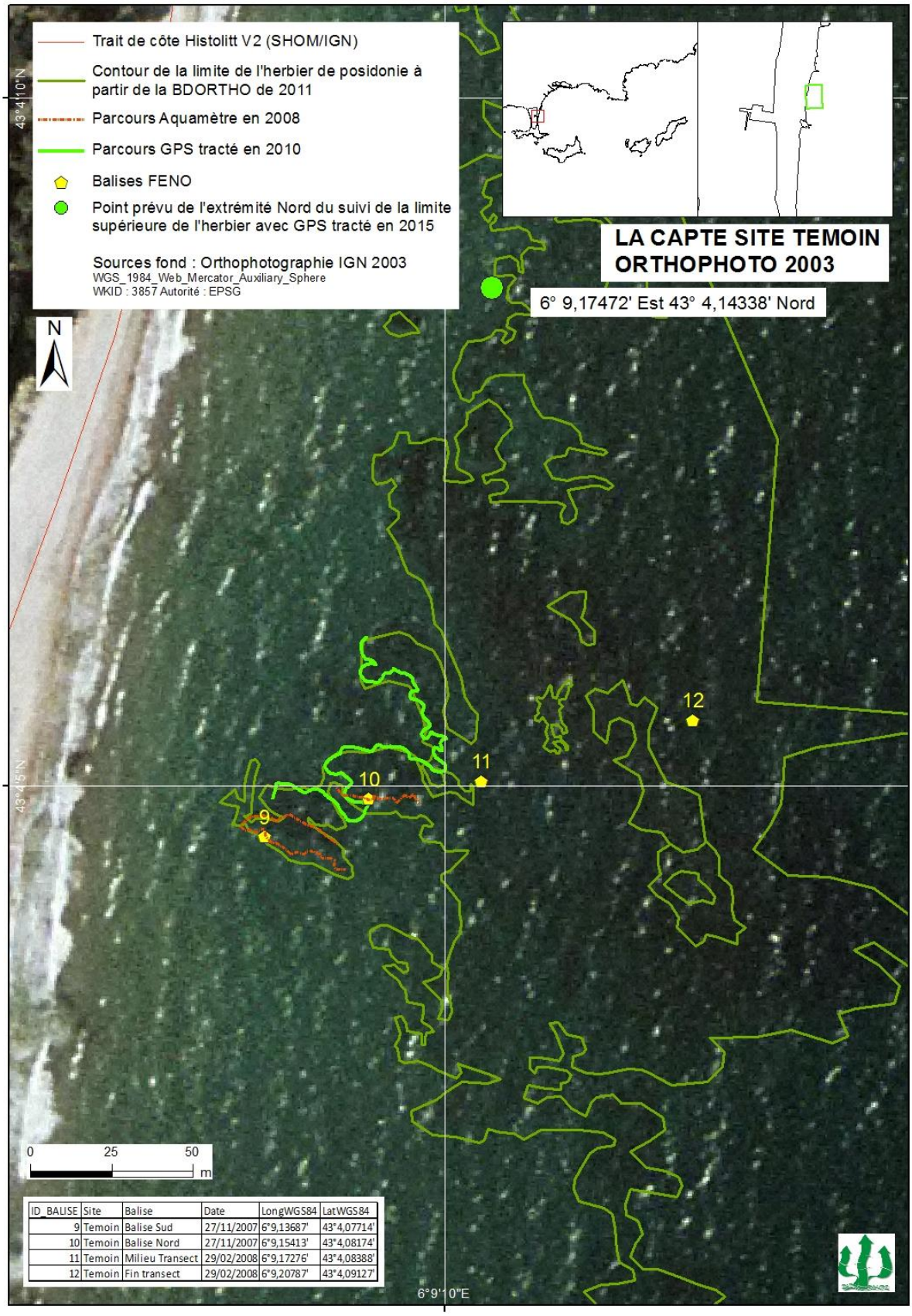
La Figure 2 présente les différents sites étudiés au niveau de **La Capte** :

- **Site témoin** : les Figure 3, Figure 4 et Figure 5 présentent la superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie de 2011 sur respectivement les fonds de l'imagerie de 2003, 2009 et 2011. La trace du parcours GPS effectué en 2010 le long de la limite supérieure de l'herbier est mentionnée. De même, l'enregistrement des points de la limite supérieure de l'herbier mesurés en 2008 à l'aide d'un aquamètre est également mentionné. La Figure 6 présente le contour de la limite supérieure de l'herbier sur la bathymétrie des fonds représentée à partir des données Litto3D (IGN/SHOM).
- **Site 1** : les Figure 7, Figure 8 et Figure 9 présentent la superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie de 2011 sur respectivement les fonds de l'imagerie de 2003, 2009 et 2011. La trace native du parcours GPS (à partir du fichier GPS source) effectué en 2010 le long de la limite supérieure de l'herbier est mentionnée. De même, l'enregistrement des points de la limite supérieure de l'herbier mesurés en 2008 à l'aide d'un aquamètre est également mentionné. La Figure 10 présente le contour de la limite supérieure de l'herbier sur la bathymétrie des fonds représentée à partir des données Litto3D (IGN/SHOM).
- **Site 2** : les Figure 10, Figure 11 et Figure 12 présentent la superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie de 2011 sur respectivement les fonds de l'imagerie de 2003, 2009 et 2011. La trace native du parcours GPS (à partir du fichier GPS source) effectué en 2010 le long de la limite supérieure de l'herbier est mentionnée. De même, l'enregistrement des points de la limite supérieure de l'herbier mesurés en 2008 à l'aide d'un aquamètre est également mentionné. La Figure 14 présente le contour de la limite supérieure de l'herbier sur la bathymétrie des fonds représentée à partir des données Litto3D (IGN/SHOM).
- **Site 3** : les Figure 15, Figure 16 et Figure 17 présentent la superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie de 2011 sur respectivement les fonds de l'imagerie de 2003, 2009 et 2011. La trace native du parcours GPS (à partir du fichier GPS source) effectué en 2010 le long de la limite supérieure de l'herbier est mentionnée. De même, l'enregistrement des points de la limite supérieure de l'herbier mesurés en 2008 à l'aide d'un aquamètre est également mentionné. La Figure 18 représente le contour de la limite supérieure de l'herbier sur la bathymétrie des fonds représentée à partir des données Litto3D (IGN/SHOM).



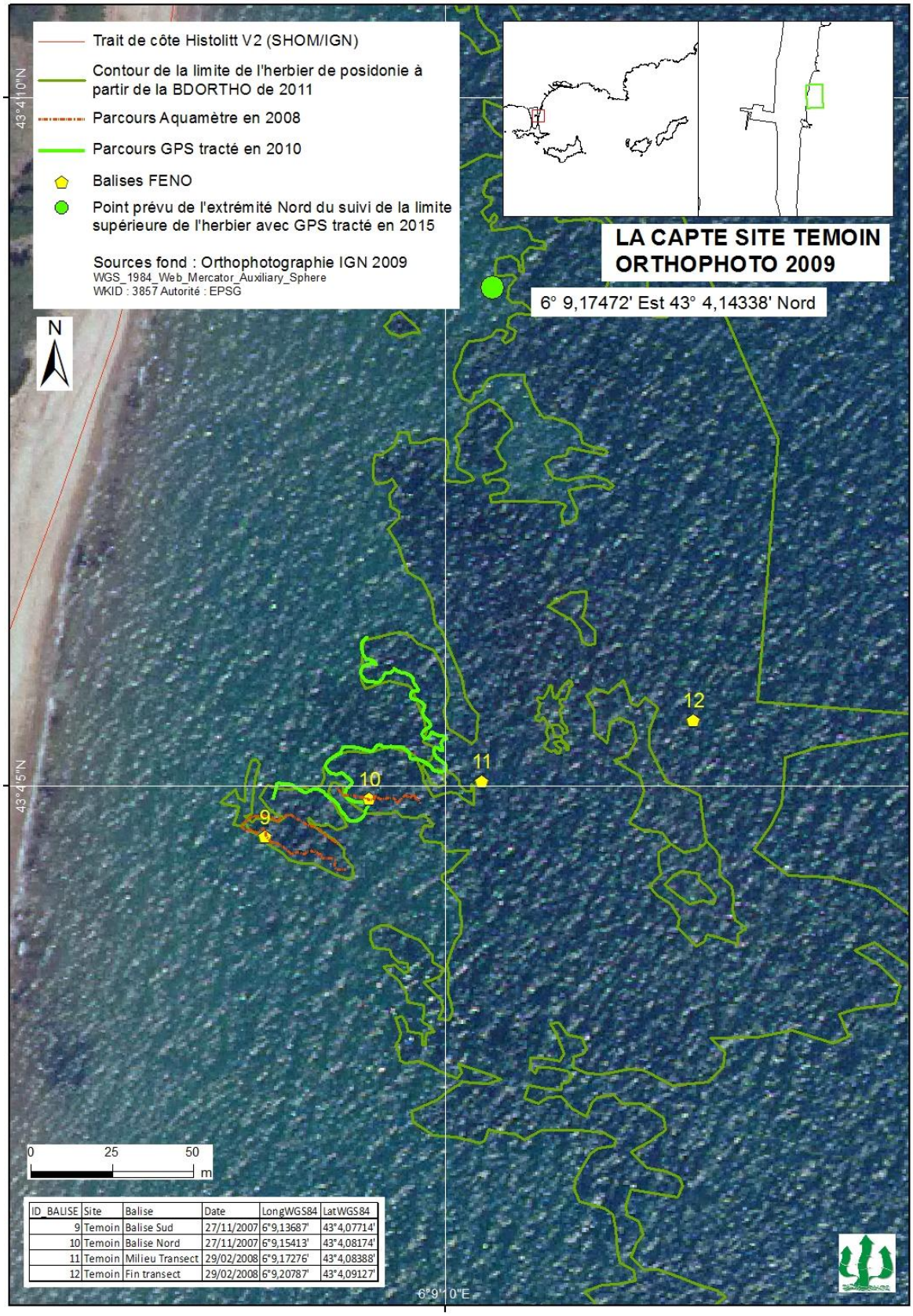
ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
1	Site 3	Balise Nord	12/10/2007	6°9,22569'	43°3,68848'
2	Site 3	Balise Sud	12/10/2007	6°9,2254'	43°3,67384'
3	Site 2	Balise Sud	12/10/2007	6°9,20126'	43°3,77637'
4	Site 2	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,22753'	43°3,7945'
5	Site 2	fin Transect	29/02/2008	6°9,262'	43°3,80722'
6	Site 2	Balise Nord	12/10/2007	6°9,18754'	43°3,78446'
7	Site 1	Balise Nord	27/11/2007	6°9,19168'	43°3,86849'
8	Site 1	Balise Sud	27/11/2007	6°9,20228'	43°3,8591'
9	Temoin	Balise Sud	27/11/2007	6°9,13687'	43°4,07714'
10	Temoin	Balise Nord	27/11/2007	6°9,15413'	43°4,08174'
11	Temoin	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,17276'	43°4,08388'
12	Temoin	Fin transect	29/02/2008	6°9,20787'	43°4,09127'

Figure 2. Localisation des sites témoin, site 1, site2, site 3 du secteur de La Capte.



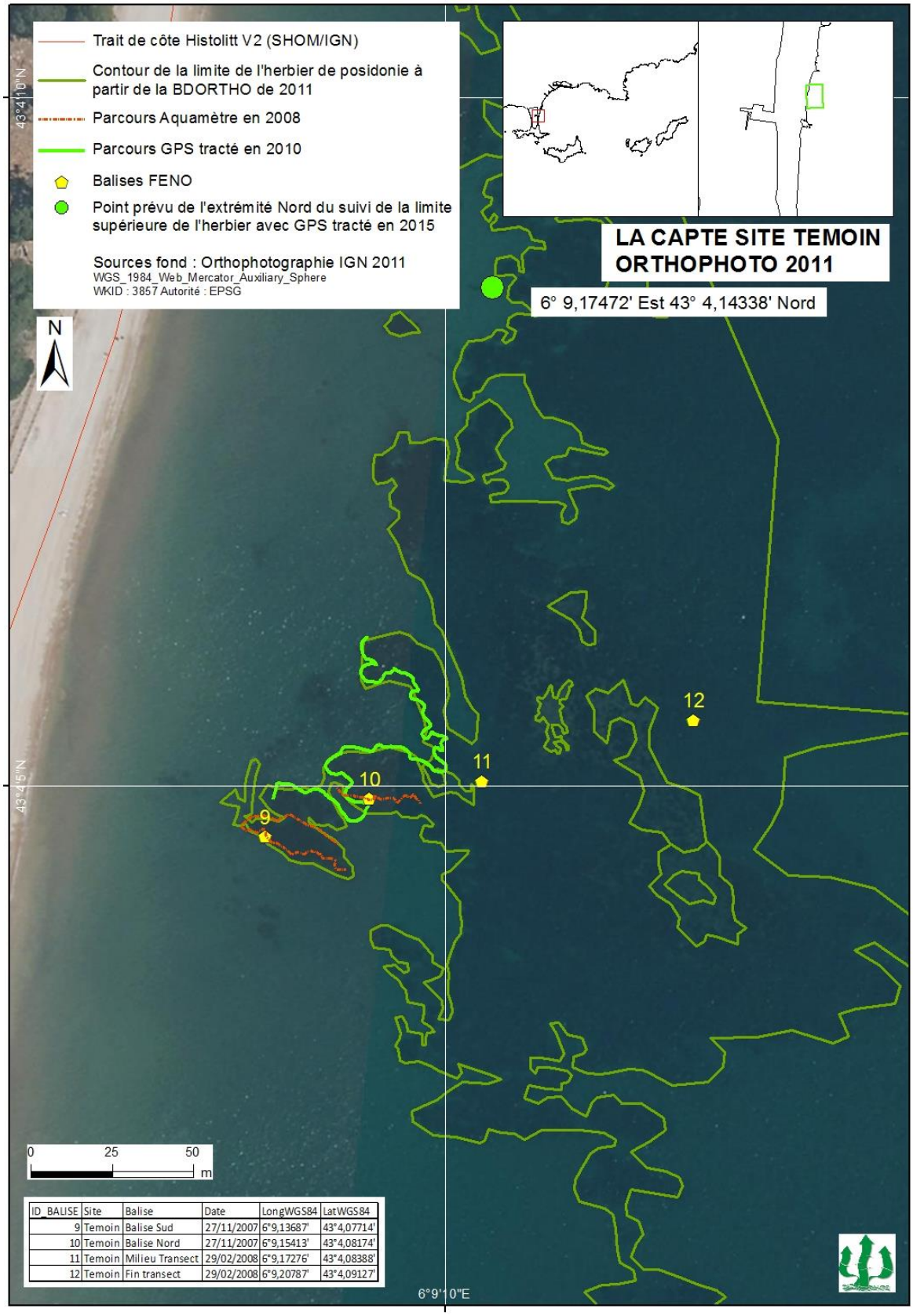
ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
9	Temoin	Balise Sud	27/11/2007	6°9,13687'	43°4,07714'
10	Temoin	Balise Nord	27/11/2007	6°9,15413'	43°4,08174'
11	Temoin	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,17276'	43°4,08388'
12	Temoin	Fin transect	29/02/2008	6°9,20787'	43°4,09127'

Figure 3. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2003 sur le site témoin de La Capte.



ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
9	Temoin	Balise Sud	27/11/2007	6°9,13687'	43°4,07714'
10	Temoin	Balise Nord	27/11/2007	6°9,15413'	43°4,08174'
11	Temoin	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,17276'	43°4,08388'
12	Temoin	Fin transect	29/02/2008	6°9,20787'	43°4,09127'

Figure 4. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2009 sur le site témoin de La Capte.



ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
9	Temoin	Balise Sud	27/11/2007	6°9,13687'	43°4,07714'
10	Temoin	Balise Nord	27/11/2007	6°9,15413'	43°4,08174'
11	Temoin	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,17276'	43°4,08388'
12	Temoin	Fin transect	29/02/2008	6°9,20787'	43°4,09127'

Figure 5. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2011 sur le site témoin de La Capte.

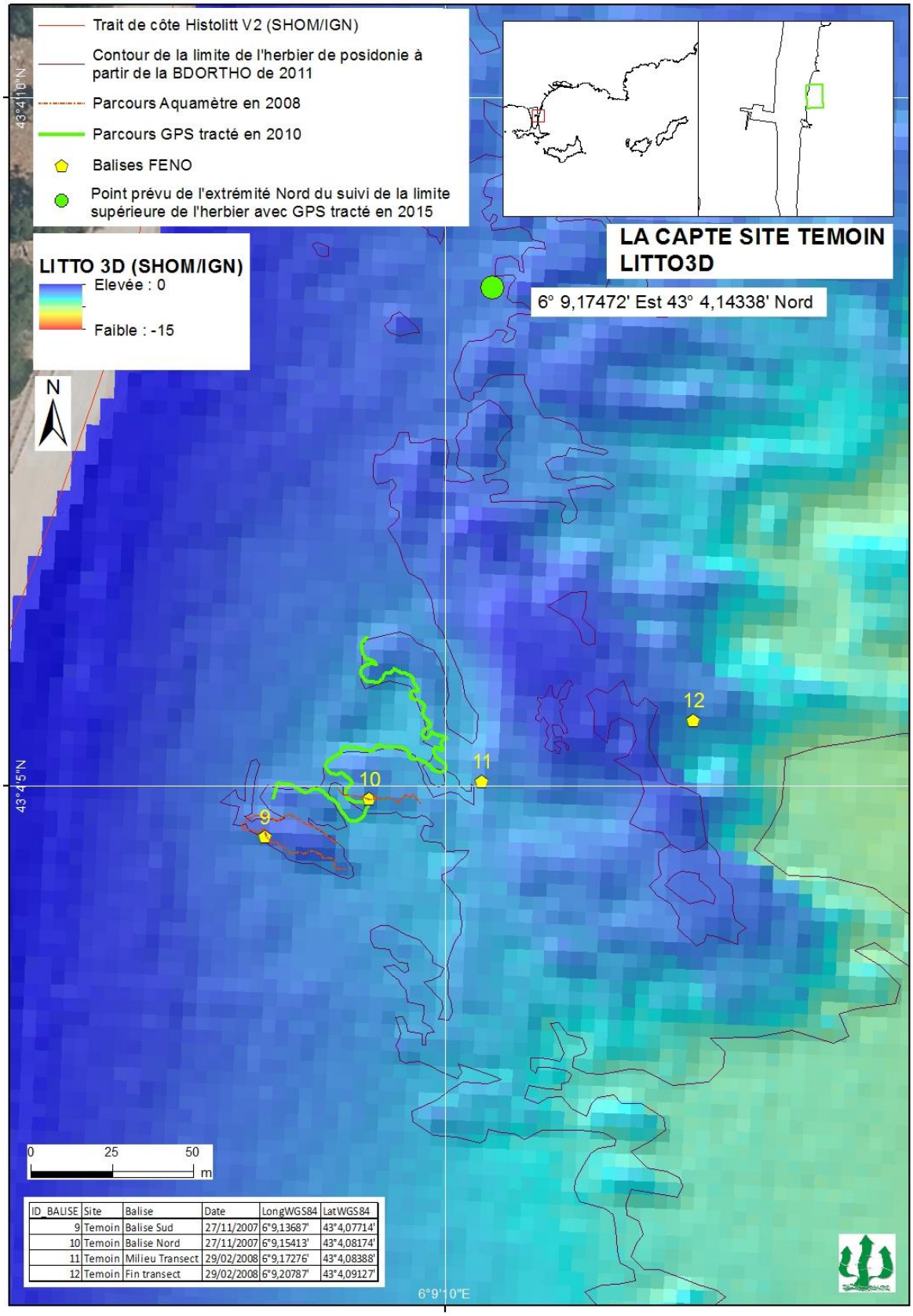
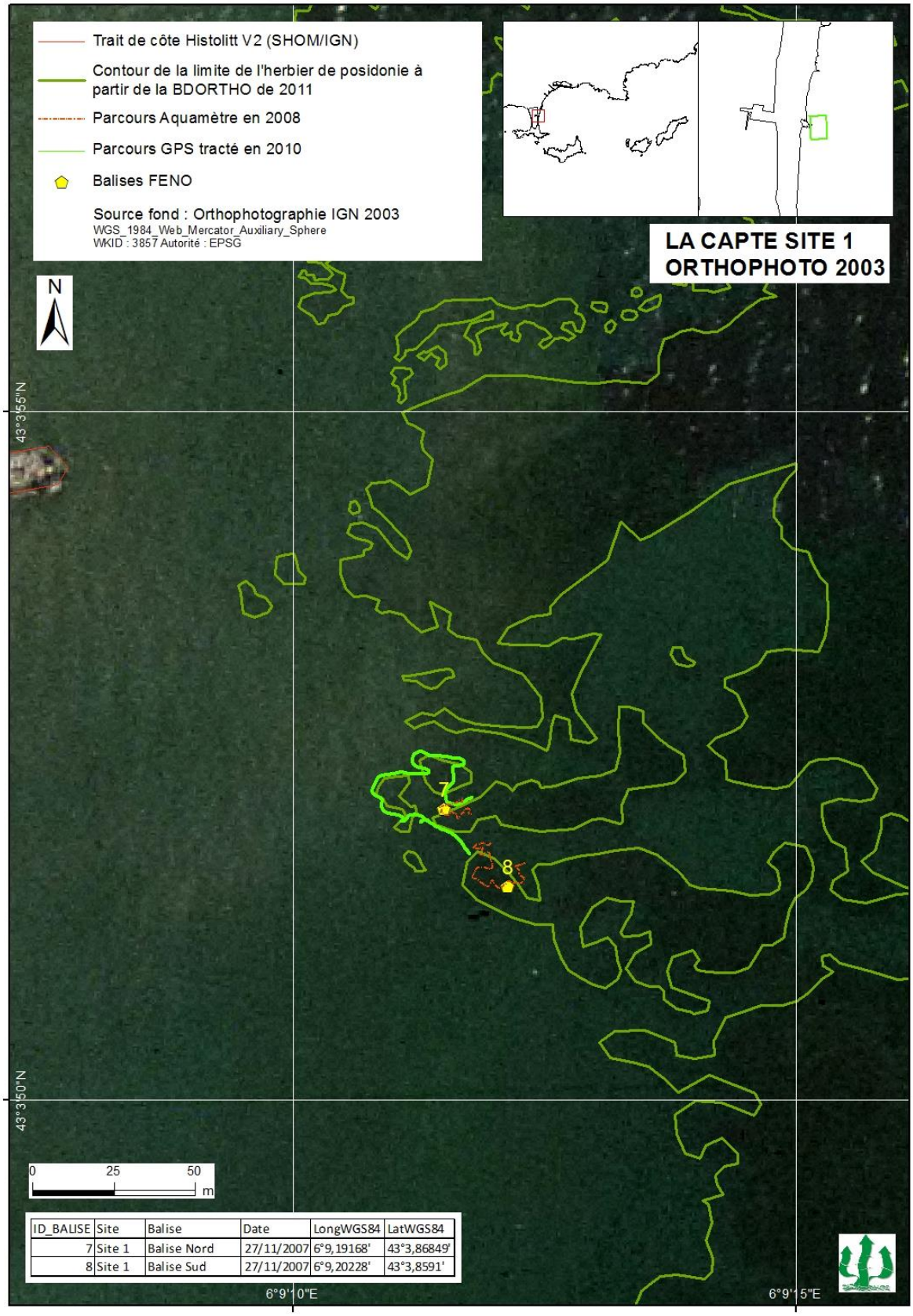
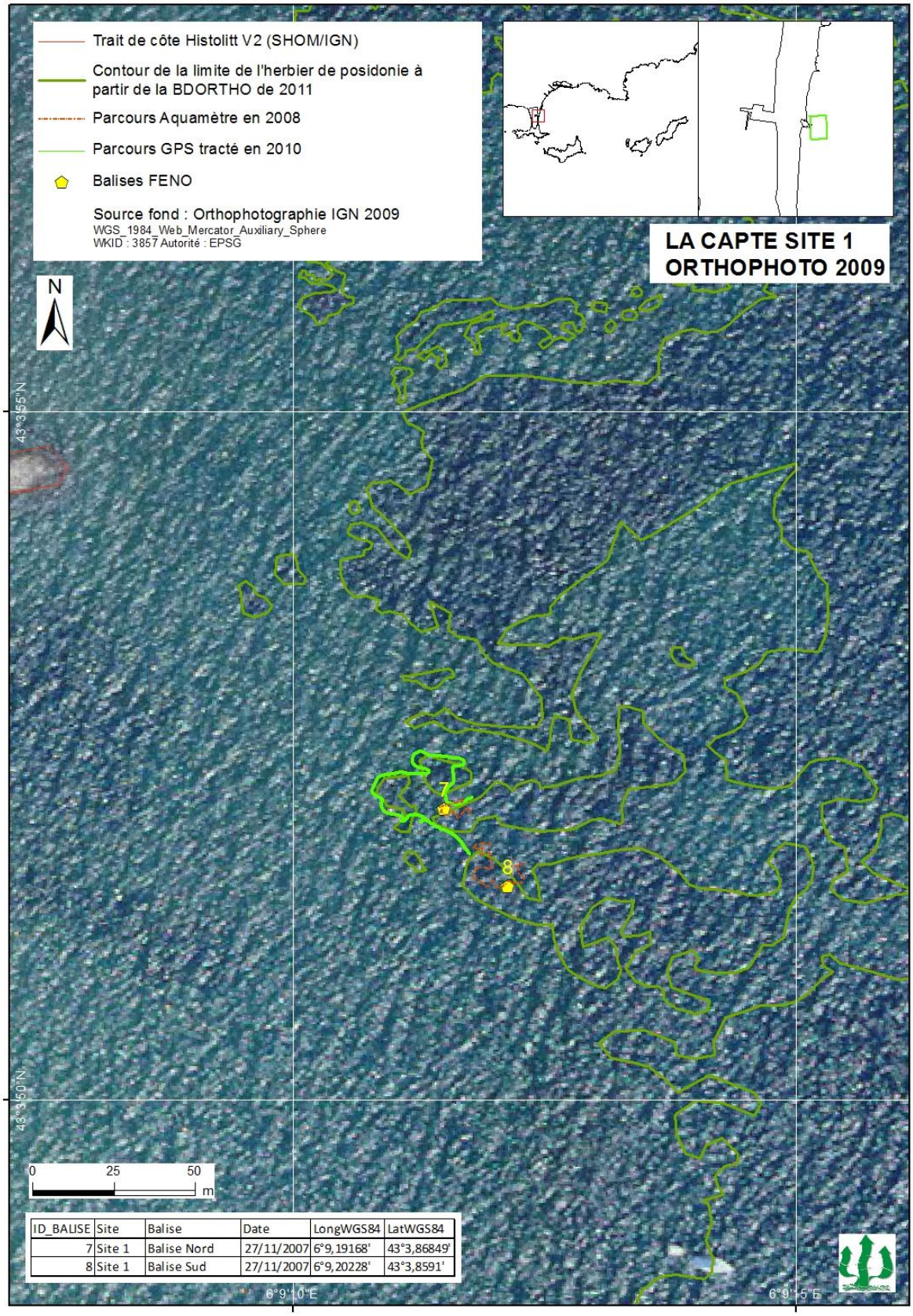


Figure 6. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec la bathymétrie issue du Litto3D sur le site témoin de La Capte.



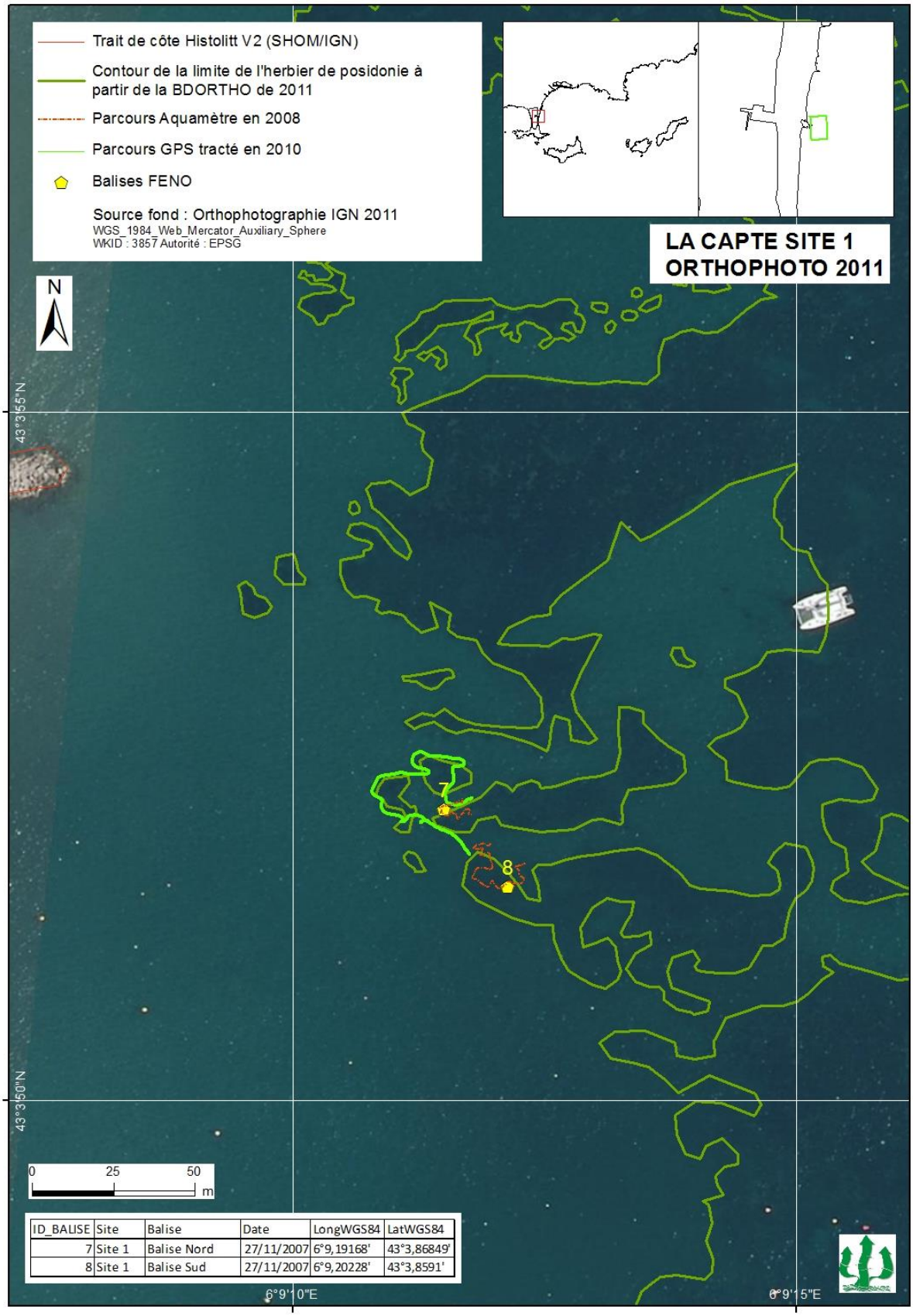
ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
7	Site 1	Balise Nord	27/11/2007	6°9,19168'	43°3,86849'
8	Site 1	Balise Sud	27/11/2007	6°9,20228'	43°3,8591'

Figure 7. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2003 sur le site 1 de La Capte.



ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
7	Site 1	Balise Nord	27/11/2007	6°9,19168'	43°3,86849'
8	Site 1	Balise Sud	27/11/2007	6°9,20228'	43°3,8591'

Figure 8. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2009 sur le site 1 de La Capte.



ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
7	Site 1	Balise Nord	27/11/2007	6°9,19168'	43°3,86849'
8	Site 1	Balise Sud	27/11/2007	6°9,20228'	43°3,8591'

Figure 9 Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2011 sur le site 1 de La Capte.

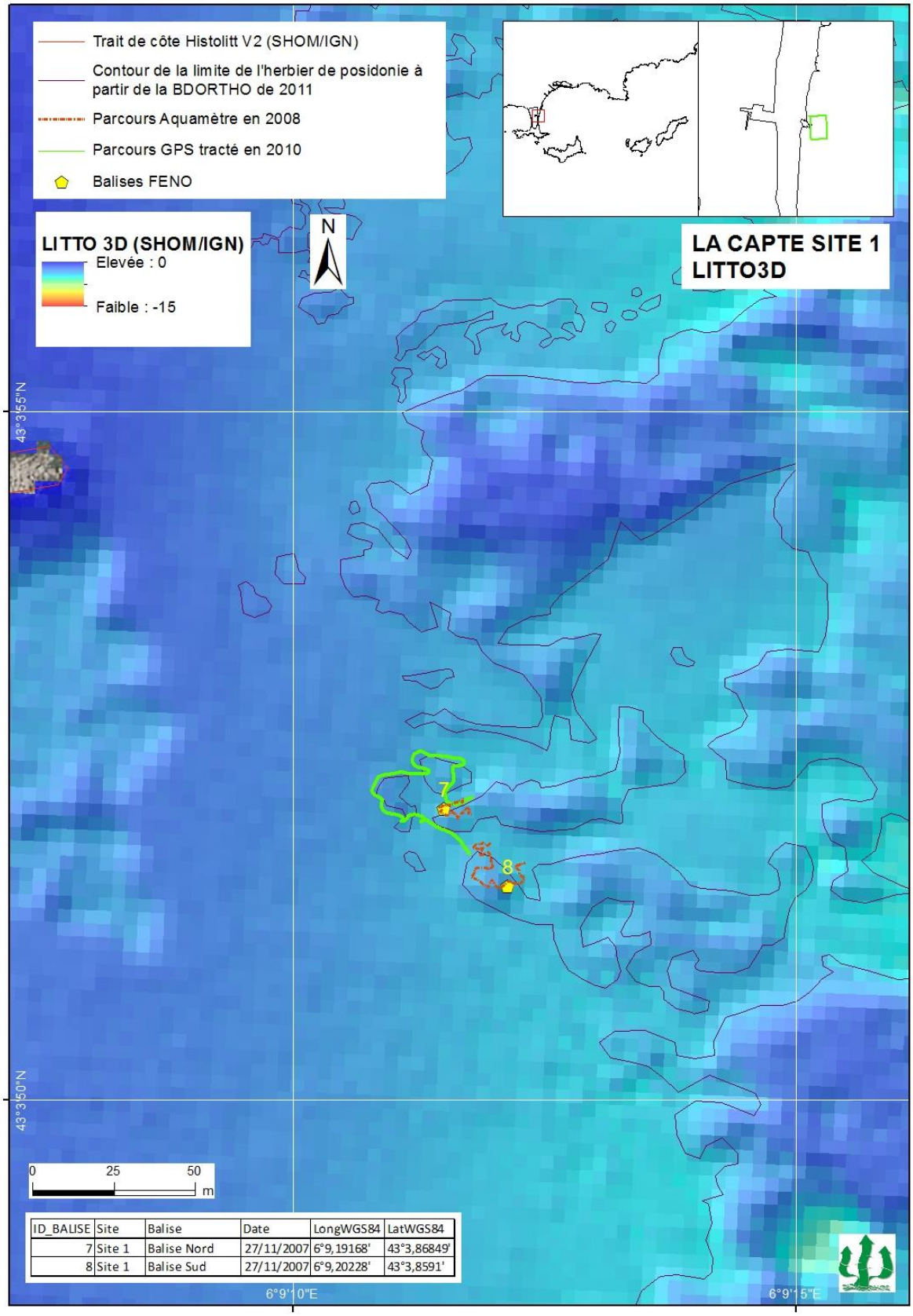
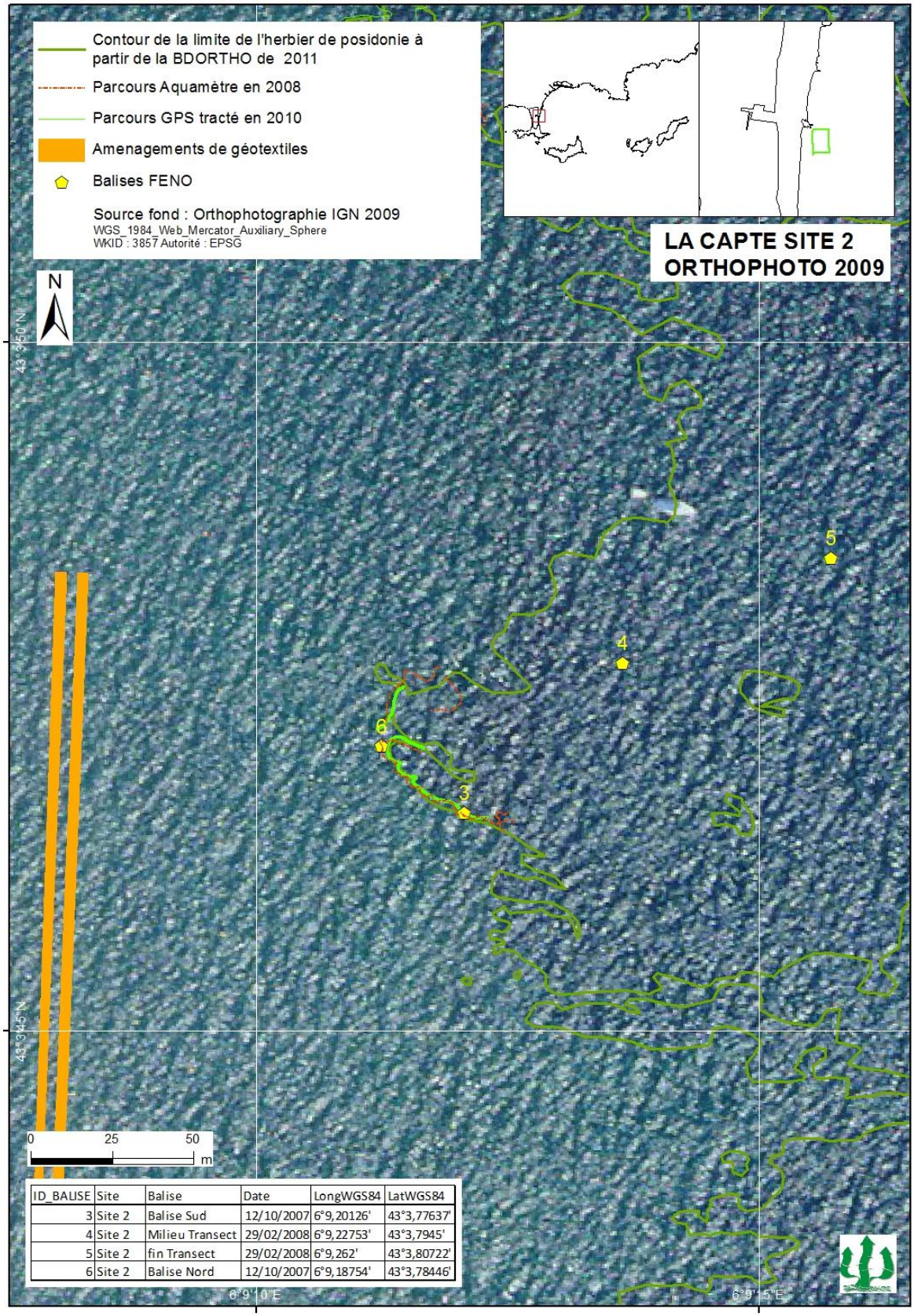


Figure 10. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec la bathymétrie issue du Litto3D sur le site 1 de La Capte.

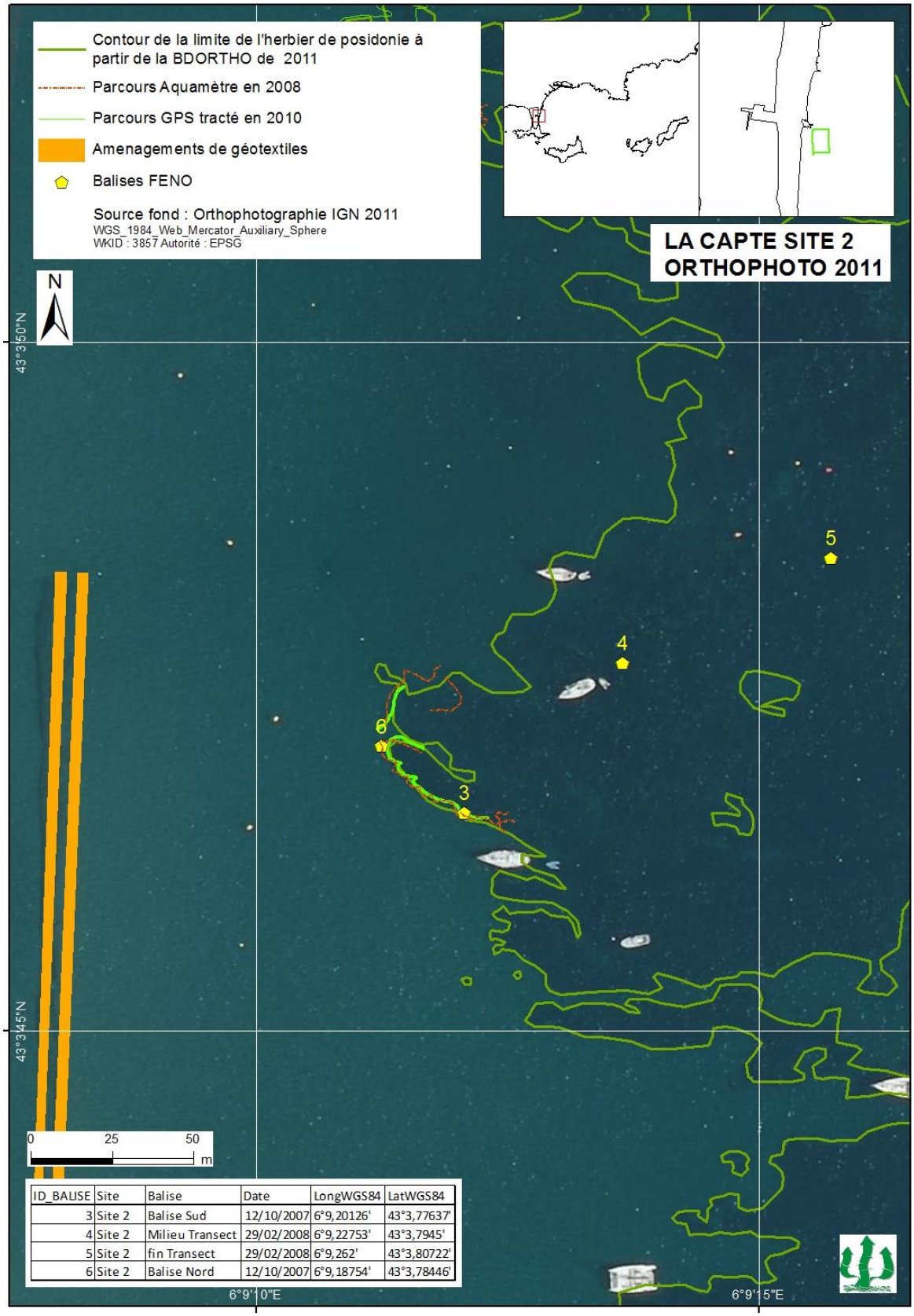
ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
3	Site 2	Balise Sud	12/10/2007	6°9,20126'	43°3,77637'
4	Site 2	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,22753'	43°3,7945'
5	Site 2	fin Transect	29/02/2008	6°9,262'	43°3,80722'
6	Site 2	Balise Nord	12/10/2007	6°9,18754'	43°3,78446'

Figure 11. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2003 sur le site 2 de La Capte.



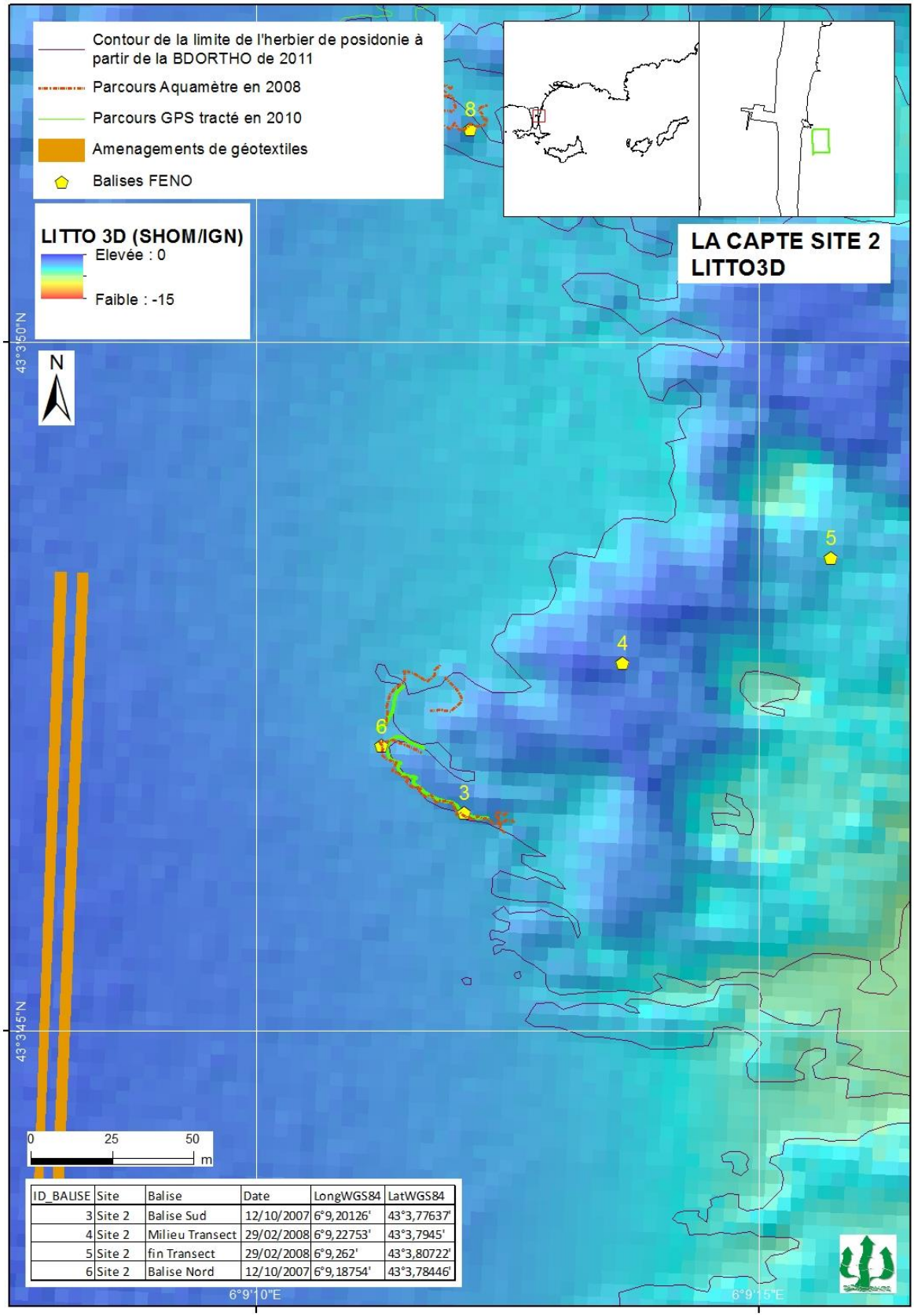
ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
3	Site 2	Balise Sud	12/10/2007	6°9,20126'	43°3,77637'
4	Site 2	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,22753'	43°3,7945'
5	Site 2	fin Transect	29/02/2008	6°9,262'	43°3,80722'
6	Site 2	Balise Nord	12/10/2007	6°9,18754'	43°3,78446'

Figure 12. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2009 sur le site 2 de La Capte.



ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
3	Site 2	Balise Sud	12/10/2007	6°9,20126'	43°3,77637'
4	Site 2	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,22753'	43°3,7945'
5	Site 2	fin Transect	29/02/2008	6°9,262'	43°3,80722'
6	Site 2	Balise Nord	12/10/2007	6°9,18754'	43°3,78446'

Figure 13. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2011 sur le site 2 de La Capte.



ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
3	Site 2	Balise Sud	12/10/2007	6°9,20126'	43°3,77637'
4	Site 2	Milieu Transect	29/02/2008	6°9,22753'	43°3,7945'
5	Site 2	fin Transect	29/02/2008	6°9,262'	43°3,80722'
6	Site 2	Balise Nord	12/10/2007	6°9,18754'	43°3,78446'

Figure 14. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec la bathymétrie issue du Litto3D sur le site 2 de La Capte.

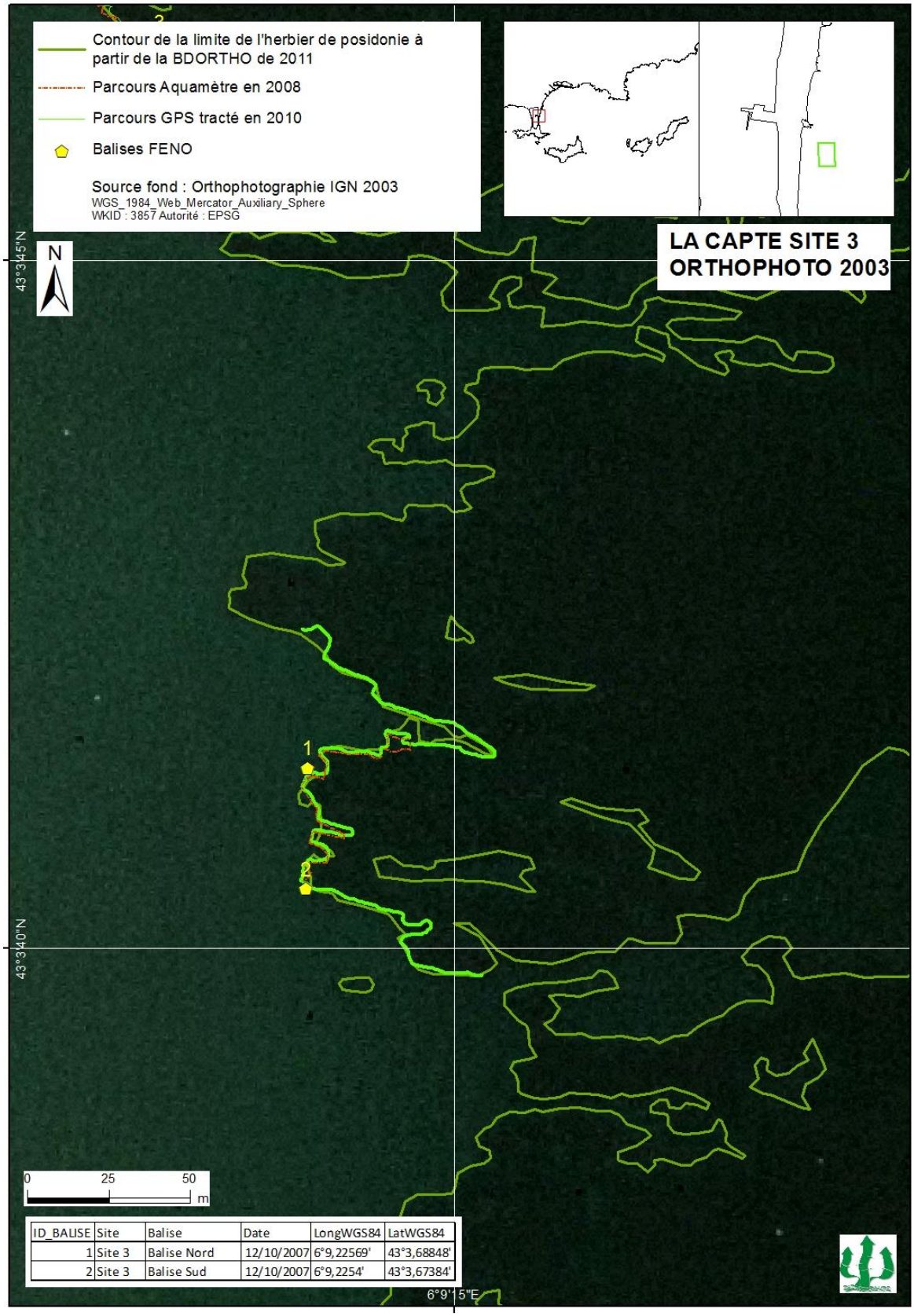
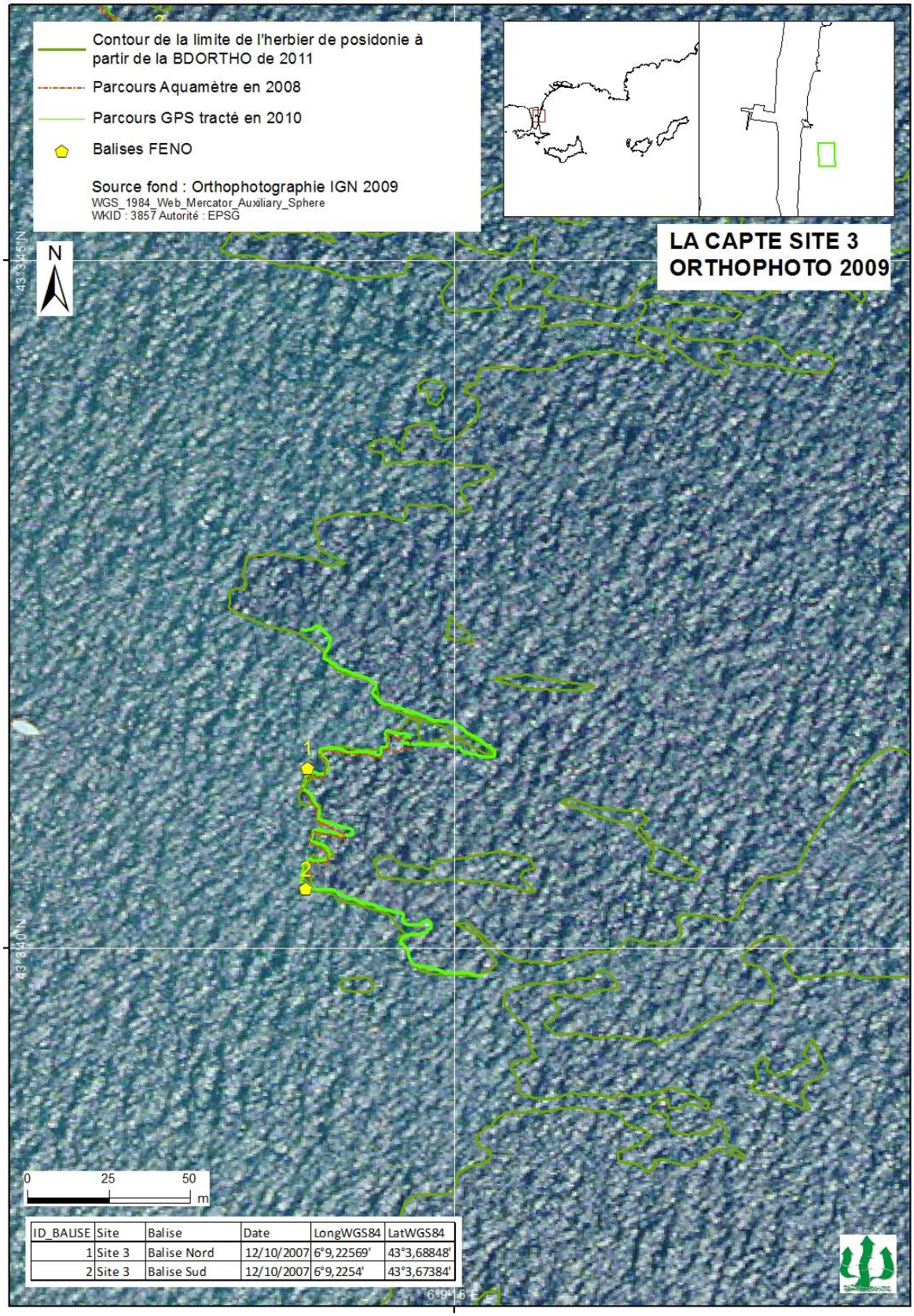


Figure 15. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2003 sur le site 3 de La Capte.



ID_BALISE	Site	Balise	Date	LongWGS84	LatWGS84
1	Site 3	Balise Nord	12/10/2007	6°9,22569'	43°3,68848'
2	Site 3	Balise Sud	12/10/2007	6°9,2254'	43°3,67384'

Figure 16. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2009 sur le site 3 de La Capte.

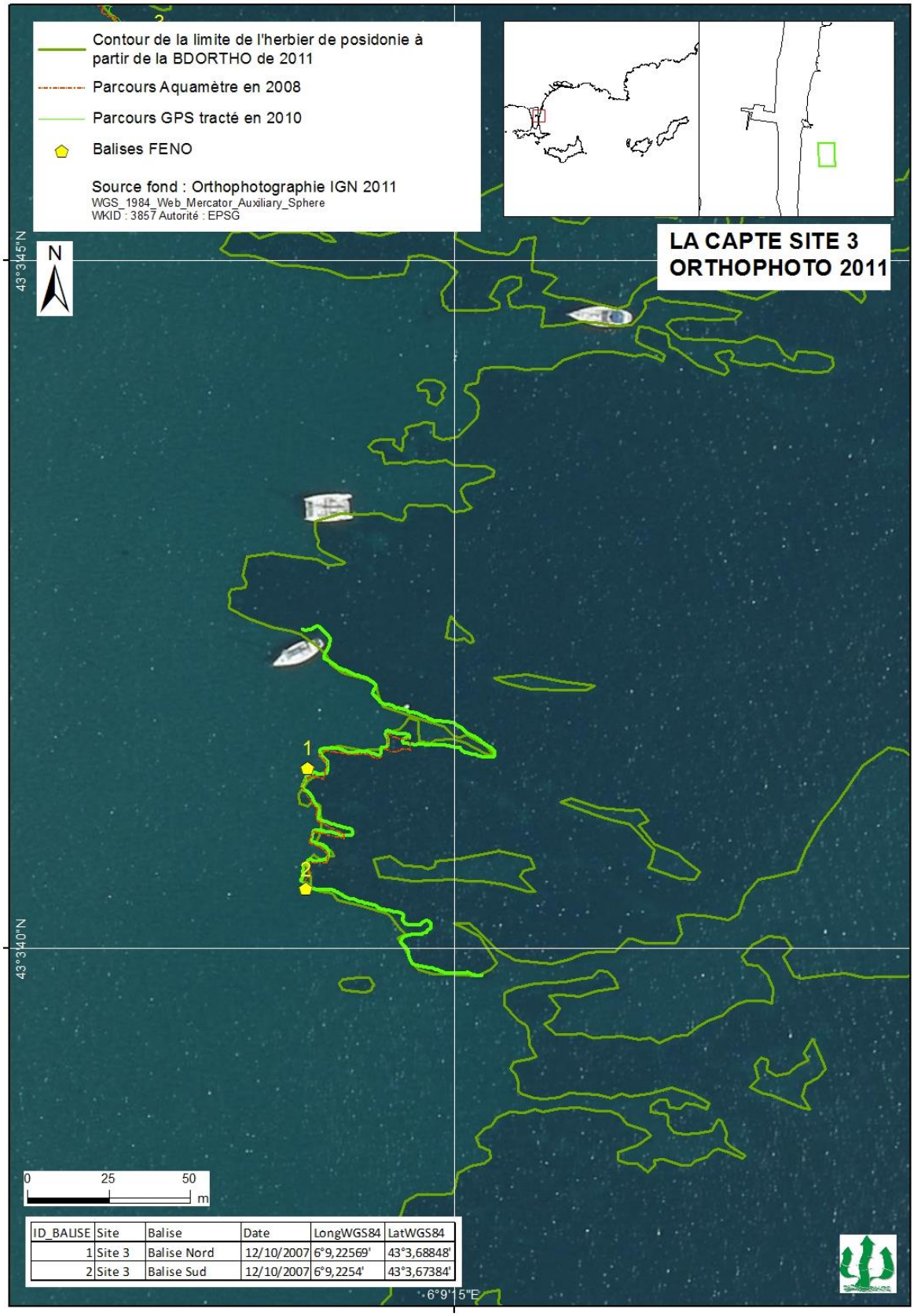


Figure 17. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec l'imagerie de 2011 sur le site 3 de La Capte.

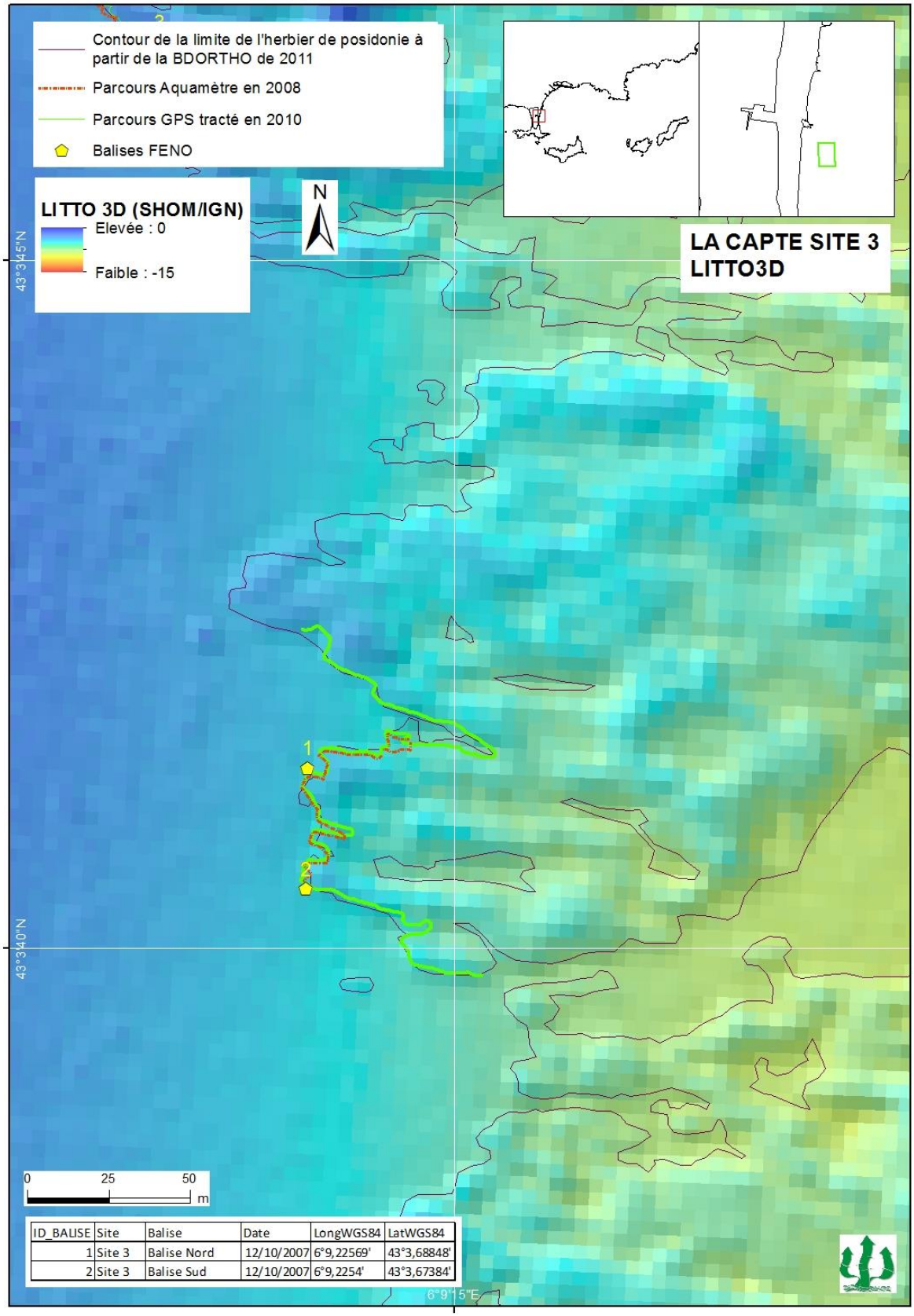


Figure 18. Superposition du contour de la limite supérieure de l'herbier de posidonie en 2011 avec la bathymétrie issue du Litto3D sur le site 3 de La Capte.

Sur SIG, l'alternance de l'affichage des imageries des couples de photo 2003-2009, 2009-2011, 2011-2014 et 2003-2011 permet de proche en proche, en se référant à la limite supérieure de l'herbier de 2011, de repérer les évolutions d'herbier entre les deux dates concernées.

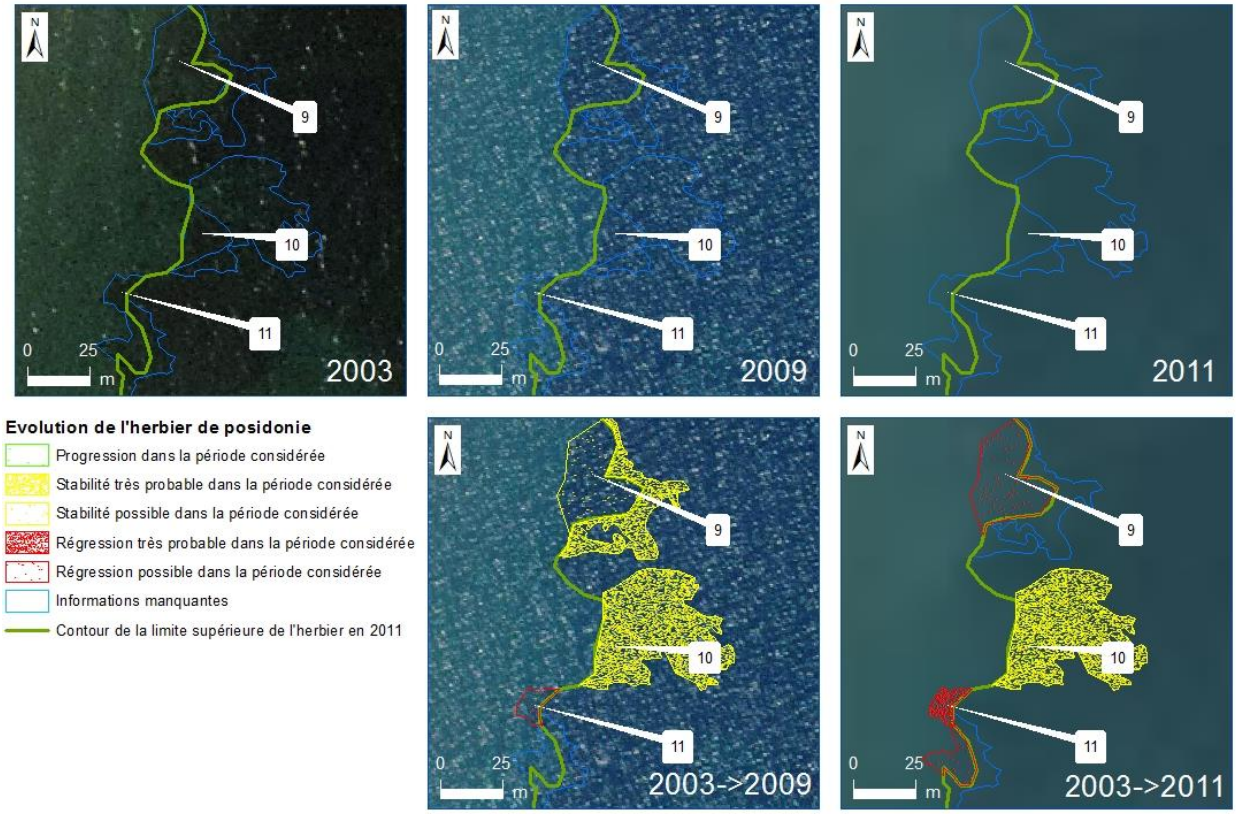
En fonction de la transparence de l'eau, de l'irisation, de la résolution de chacune des deux images considérées, les évolutions peuvent être interprétées avec plus ou moins de certitudes. Ces zones présentant une évolution sont détourées sur SIG et matérialisées par un polygone. A chacun de ces polygones est associé des attributs qui sont autant de champ qui permettent de caractériser le polygone. Polygones et attributs constituent la couche SIG nommée « modification_limite_sup_hp_2003_2015.shp » qui sera rendu sous format numérique avec ce présent rapport. Nous avons donc créé les champs « Habitat_2003», « Habitat_2009», « Habitat_2011», « Habitat_2014» et « Habitat_2015». A chacun des polygones la nature de l'habitat identifié à partir d'une image d'une année donnée est renseignée dans le champ « Habitat_année » correspondant. Les habitats retenus autour de la limite supérieure de l'herbier sont :

- herbier de posidonie noté « HP »
- matte-morte de posidonie notée « MM »
- sable notée « SA ».

Un indice de 1 à 3 qualifie la fiabilité de l'interprétation de la nature de l'habitat à partir de l'image considérée dans le polygone considéré :

- 1 = nature fiable
- 2 = nature moyennement fiable
- 3 = nature peu fiable
- 4 = donnée non interprétable.

Ces indices sont ajoutés en préfixe de la nature de l'habitat dans le champ habitat concerné (Figure 19). A titre d'exemple, sur la Figure 19 nous voyons que le polygone 11 est interprété en herbier de posidonie avec une bonne fiabilité en 2003, en sable avec une fiabilité moyenne en 2009 et en sable avec une bonne fiabilité en 2011. Ainsi pour ce polygone, l'interprétation de l'évolution entre deux années donne pour 2003-2009 une régression possible de l'herbier et une régression très probable de l'herbier entre 2003 et 2011 (Figure 19).



N° polygone	Surface m²	Habitat_2003	Habitat_2009	Habitat_2011	Habitat_2014
9	869	2_HP	1_HP	1_SA	1_SA
10	312	1_HP	1_HP	1_HP	3_SA
11	132	1_HP	2_SA	1_SA	1_SA

Figure 19. Exemple de la méthode de comparaison utilisée pour identifier les évolutions de l'herbier de posidonie au cours du temps le long de sa limite supérieure. Dans le tableau : « 1_ » = nature fiable de l'habitat, « 2_ » = nature moyennement fiable, « 3_ » = nature peu fiable, HP = Herbier de posidonie, SA = Sable.

2.1.2. Suivi par parcours en GPS tracté

La limite supérieure de l'herbier de posidonie est suivie le long de parcours en tractant un GPS (mobile mapper pro, précision sub-métrique après post-traitement) qui enregistre la position du plongeur chaque seconde. Le plongeur nageur se déplace le long de la limite supérieure continue de l'herbier. Si celle-ci est fragmentée (avec de nombreux ilots), le plongeur suit un parcours dessinant une enveloppe intégrant les ilots dans la zone « herbier continue » dès lors que ceux-ci sont situés à moins d'1 mètre de distance de l'herbier continue ou d'un autre ilot lui-même rattaché à l'herbier continue. Lorsque le nageur suit une limite avec d'un côté de l'herbier et de l'autre de la matte-morte, il note alors sur une feuille immergeable l'heure du début de ce front herbier/matte-morte et l'heure de fin de ce front herbier/matte-morte. La synchronisation de l'heure de la montre du nageur avec celle du GPS permettra en post traitement de retrouver sur SIG la portion de parcours correspondant à ce front et ainsi de

valider en ces lieux l'interprétation faite de la nature des fonds par digitalisation des orthophotographies. En effet sur orthophotographie la limite de l'herbier avec de la matte-morte couverte de feuilles mortes ou de macrophytes peut parfois être difficile à différencier.

La très bonne résolution de l'imagerie de 2011 permet de détourer avec aisance la limite supérieure de l'herbier au niveau de La Capte. Elle permet également d'appréhender de nombreuses et profondes invaginations de la limite supérieure de l'herbier. Ces invaginations augmentent d'autant la distance à parcourir pour suivre l'ensemble de la limite en GPS tracté. L'effort initialement prévu pour suivre cette limite a été évalué pour une limite relativement linéaire soit pour un parcours de l'ordre de 1.2 à 1.5 km. Cet effort, en distance de parcours, a alors été réparti en priorité (i) sur les linéaires suivis en 2006 et 2008 par GPS tracté ou avec l'aquamètre, (ii) sur les secteurs ayant présenté des incertitudes d'interprétation lors de la digitalisation à partir des orthophotographies. Si les parcours, réalisés en GPS tracté en 2015, laissent apparaitre de nouvelles zones de régressions de l'herbier alors ces zones seront détourées sous forme de polygones. Ceux-ci seront ajoutés à la couche SIG « modification_limite_sup_hp_2003_2015.shp » qui permet de synthétiser et représenter cartographiquement l'ensemble des évolutions de l'herbier sur les secteurs et la période considérée.

2.2. Paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie

Des mesures de certains paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie ont été réalisées au niveau des huit balises immergées en 2007 par Gratiot et Mannoni (points jaunes sur la Figure 2).

2.2.1. Densité de faisceaux

La densité de l'herbier de posidonie correspond au nombre de faisceaux de posidonie présents par unité de surface, généralement le mètre carré (en dehors des intermattes). Celle-ci varie en fonction de la profondeur et des conditions du milieu (lumière, type de substrat où l'herbier est implanté). Du fait de l'intensité lumineuse élevée près de la surface, un herbier présentera des valeurs de densité très élevées dans des secteurs superficiels, alors qu'elles seront beaucoup plus faibles en profondeur (limite inférieure) ou dans des zones présentant une turbidité élevée (Pergent *et al*., 1995 actualisé dans Pergent, 2007).

La densité a été mesurée à l'aide de quadrats de 30 cm x 30 cm. Trois mesures ont ainsi été réalisées de façon aléatoire autour de chaque balise (hors intermattes). Ces mesures de densité permettent de classer l'herbier en cinq catégories, selon les valeurs de densité mesurées en fonction de la profondeur : densité très bonne, bonne, moyenne, médiocre et mauvaise (Pergent, 2007). En effet, la variabilité du facteur densité est expliquée à 54% par la profondeur

(qui intègre également la pénétration de la lumière). Les 46% de variabilité restant sont liés à d'autres paramètres comme la turbidité moyenne, la pollution, l'hydrodynamisme ou la nature du substrat (Pergent-Martini, 1994).

Tableau 1. Classification de la densité au m² de l'herbier à posidonies en fonction de la profondeur (en mètres). La densité d'un herbier est classée en 5 catégories : « très bonne », « bonne », « moyenne », « médiocre » ou « mauvaise » (d'après Pergent-Martini, 1994 et Pergent et *al.*, 1995, actualisé par Pergent, 2007).

Profondeur (m)	Très bonne	Bonne	Moyenne	Médiocre	Mauvaise
1	>1195	1195-964	964-732	732-501	<501
2	>1126	1126-903	903-679	679-456	<456
3	>1061	1061-846	846-630	630-415	<415
4	>1000	1000-792	792-585	585-377	<377
5	>942	942-742	742-543	543-343	<343
6	>887	887-696	696-504	504-312	<312
7	>836	836-652	652-468	468-284	<284
8	>788	788-611	611-435	435-259	<259
9	>742	742-573	573-404	404-235	<235
10	>699	699-538	538-376	376-214	<214
11	>659	659-504	504-350	350-195	<195
12	>621	621-473	473-325	325-177	<177
13	>585	585-444	444-303	303-161	<161
14	>551	551-416	416-282	282-147	<147
15	>519	519-391	391-262	262-134	<134
16	>489	489-367	367-244	244-122	<122
17	>461	461-344	344-227	227-111	<111
18	>434	434-323	323-212	212-101	<101
19	>409	409-303	303-197	197-92	<92
20	>385	385-285	285-184	184-83	<83
21	>363	363-267	267-172	172-76	<76
22	>342	342-251	251-160	160-69	<69
23	>322	322-236	236-149	149-63	<63
24	>304	304-221	221-139	139-57	<57
25	>286	286-208	208-130	130-52	<52
26	>269	269-195	195-121	121-47	<47
27	>254	254-184	184-113	113-43	<43
28	>239	239-173	173-106	106-39	<39
29	>225	225-162	162-99	99-36	<36
30	>212	212-152	152-92	92-32	<32
31	>200	200-143	143-86	86-30	<30
32	>188	188-135	135-81	81-27	<27
33	>178	178-127	127-76	76-24	<24
34	>167	167-119	119-71	71-22	<22
35	>158	158-112	112-66	66-20	<20
36	>148	148-105	105-62	62-18	<18
37	>140	140-99	99-58	58-17	<17
38	>132	132-93	93-54	54-15	<15
39	>124	124-87	87-51	51-14	<14
40	>117	117-82	82-47	47-13	<13

2.2.2. Déchaussement

Le lacis des rhizomes et les feuilles de la posidonie constituent un piège à sédiment (Molinier et Picard, 1952). Les espaces entre les rhizomes vont, en se comblant de sédiments, constituer la matte. Les rhizomes de posidonie sont caractérisés par une croissance horizontale (rhizomes plagiotropes) et/ou verticale (rhizomes orthotropes). L'édification d'une matte correspond à un équilibre entre la croissance naturelle de rhizomes luttant pour l'accès à la lumière et l'accumulation de sédiments piégés. La croissance verticale est à l'origine de l'édification des mattes et permet à la plante de lutter contre l'enfouissement lié à la sédimentation.

L'observation du déchaussement permet donc d'apprécier rapidement et assez précisément l'hydrodynamisme d'une zone et les déplacements sédimentaires qui y ont lieu. La mesure du déchaussement des rhizomes est réalisée selon les conventions définies par Boudouresque *et al.* (1980) :

- pour les rhizomes plagiotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la partie inférieure des rhizomes ;
- pour les rhizomes orthotropes, le déchaussement est la distance qui sépare le sédiment de la base des feuilles, distance à laquelle on soustrait 2 cm.

L'échelle d'évaluation du déchaussement (faible, moyen, important) établit par Charbonnel *et al*. (2000) est utilisée pour cette étude. Dix mesures de déchaussement (1 mesure = 1 rhizome) ont été réalisées à chaque balise.

2.2.3. Orientation des rhizomes

En limite d'herbier ou en bordure des taches de posidonie, la présence de nombreux rhizomes plagiotropes traçants est un indice de bonne vitalité de l'herbier, car elle traduit une tendance à la progression. Au sein même de l'herbier, un pourcentage élevé de rhizomes plagiotropes peut être une réponse de l'herbier à un stress, causé par exemple par une pression d'ancrage répété, qu'elle soit passée ou présente (Poulain, 1996). Cette réponse peut passer inaperçue si l'on se contente uniquement d'étudier la macrostructure de l'herbier.

Trois mesures de pourcentage de rhizomes plagiotropes ont été réalisées à chaque balise. Une mesure correspond au comptage sur 10 rhizomes, du nombre de plagiotropes et d'orthotropes, permettant de calculer un pourcentage de rhizomes plagiotropes. Un pourcentage de rhizomes plagiotropes compris entre 0 et 10 est considéré comme faible, entre 11 et 29 comme moyen, et entre 30 et 100 comme fort.

3. Résultats

3.1. Cartographie de la limite supérieure de l'herbier de posidonie

La Figure 20 présente les parcours en GPS tracté réalisés en avril 2015 le long de la limite supérieure de l'herbier de posidonie au niveau des 4 sites balisés de La Capte.

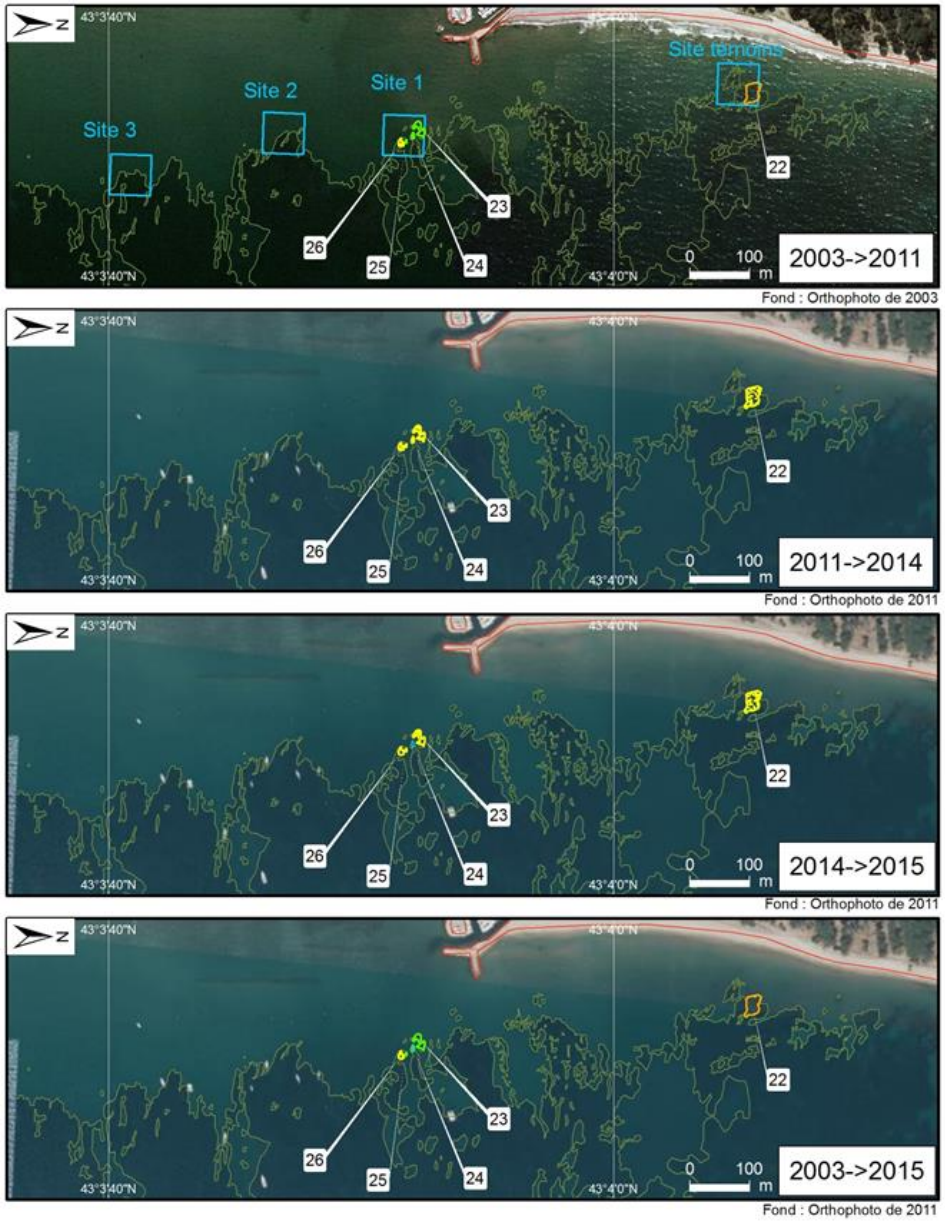
Figure 20. Parcours en GPS tracté (précision de positionnement submétrique) réalisé en avril 2015 le long de la limite supérieure de l'herbier de posidonie au niveau des 4 sites balisés de La Capte.

La Figure 21 et le Tableau 2 présentent la nature de l'habitat de différents polygones interprétée à partir des photos de 2003, 2009, 2011 et 2014, des parcours effectués avec l'aquamètre en 2008 (Gratiot et de Vaugelas, 2009a) et des parcours effectués en GPS tracté en 2010 (Antonioli et *al*., 2010) et 2015 (Figure 20). La superposition de ces différentes données permet de mettre en évidence les évolutions de la limite supérieure de l'herbier de posidonie entre 2003 et 2015 au niveau des 4 sites balisés.

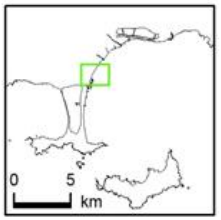
L'analyse des différentes données indiquent que dans les sites 2 et 3, aucune évolution de la limite supérieure de l'herbier de posidonie n'est observée entre 2003 et 2015. Dans le site témoin, un polygone (n°22 sur la carte et dans le tableau) de 680 m² enregistre une régression possible de l'herbier entre ces deux dates. Enfin, dans le site 1, des fausses progressions d'herbier peuvent être interprétées. Pour les polygones n°23 et n°25, la simple comparaison des données de 2003 et de 2015 pourrait amener à conclure d'une progression de l'herbier au cours de cette période. Or l'observation attentive de la photo de 2003 montre que proche du rivage, dans les alentours de ces polygones, il y avait beaucoup de turbidité. Ceci peut masquer entièrement la présence de l'herbier sous-jacent et laisser penser à une absence en 2003 et une croissance entre 2003 et 2015. Compte tenu de la faible croissance de la posidonie, cette progression n'est pas possible au cours de cette 'courte' période.

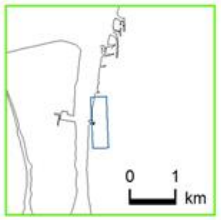
Tableau 2. Evolutions de la limite supérieure de l'herbier de posidonie au niveau des 4 sites balisés de La Capte entre 2003 à 2015. Les numéros des polygones sont localisés sur la Figure 21. « 1_ » : nature fiable de l'habitat ; « 2_ » : nature moyennement fiable ; « 3_ » : nature peu fiable ; « 4» : données manquants ou non interprétables ; « HP » : Herbier de posidonie ; « SA » : Sable. Les cellules en orange représentent les polygones pour lesquels l'herbier a peut-être régressé entre 2003 et 2015 ; Les cellules en jaune représentent les polygones pour lesquels il n'y a pas eu d'évolution de l'herbier entre 2003 et 2015.

N° polygone	Habitat en 2003	Habitat en 2009	Habitat en 2011	Habitat en 2014	Habitat en 2015	Surface en m²
22	3_HP	3_HP	1_SA	1_SA	1_SA	680
23	3_SA	2_HP	1_HP	2_HP	1_HP	219
24	3_SA	2_HP	1_HP	2_HP	4	30
25	3_SA	2_HP	1_HP	2_HP	1_HP	19
26	1_HP	1_HP	1_HP	1_HP	1_HP	76



Evolutions de la limite supérieure de l'herbier entre 2003 et 2015 dans le secteur de la Capte





Secteur des balisages

Différences observées entre les années considérées

- Fausse progression car herbier masqué par turbidité en 2003
- Stable dans la période considérée très probable
- Stable dans la période considérée possible
- Régression de l'herbier très probable
- Régression de l'herbier possible
- Informations manquantes
- Trait de côte Histolitt V2 (SHOM/IGN)
- Contour de la limite de l'herbier sur l'orthophoto IGN de 2011

NB : Les secteur pour lesquels il n'apparait ni régression, ni stabilité ni fausse progression correspondent soit à des secteurs stables soit à des secteurs pour lesquels l'imagerie disponible ne permet pas de se prononcer.

2015 : GPS tracté (précision submétrique) le long de la limite supérieure de l'herbier (Avril 2015)
2014 : comparaison à partir des images prises en 2014 par le satellite civil français Spot 6 opéré par Airbus Defence&Space. Images de résolution 1,5 m sélectionnées et traitées par l'IGN et publié sur le géoportail.
2011 : comparaison à partir des orthophotos IGN de 2011 publiées sur le géoportail. Résolution 20 cm.
2009 : comparaison à partir des orthophotos IGN de 2009. Résolution 50 cm
2003 : comparaison à partir des orthophotos IGN de 2003. Résolution 50 cm

Projection : WGS1984 Web Mercator Auxiliary Sphere
Ellipsoïde : WGS 1984

Figure 21. Evolution de la limite supérieure de l'herbier dans le secteur de La Capte entre 2003 et 2015.

3.2. Paramètres de vitalité

- **Site témoin**

Le site témoin est situé au Nord du port de La Capte, hors de l'influence des tubes géotextiles. Il est équipé de 2 balises Feno, balise n° 10 au Nord placée à une profondeur de 4.2 m et balise n°9 au Sud placée à -3.1 m. Au cours des investigations de terrain en 2015, aucune des deux balises n'a été retrouvée. Des mouvements sédimentaires ont pu avoir lieu et recouvrir ces balises. Dans cette zone très fréquentée, les balises ont pu être aussi arrachées volontairement par curiosité ou de façon involontaire.

Le Tableau 3 présente les valeurs moyennes de densité de faisceaux par mètre carré mesurées autour des deux balises. Entre 2007 et 2015, les densités moyennes mesurées étaient médiocres à moyennes selon l'échelle d'interprétation de Pergent (2007). Seul en 2008, les densités mesurées étaient qualifiées de bonnes, probablement dû à un artéfact.

Le Tableau 3 présente également les valeurs de déchaussement moyen mesurées autour des deux balises en 2010 et 2015. Alors qu'en 2010, un léger ensablement était observé, en 2015 un faible déchaussement est noté.

En 2007 et 2009, le pourcentage de rhizomes plagiotropes au niveau des deux balises n'avait pas été estimé quantitativement. Par contre, à partir de 2010, des mesures ont été réalisées (Tableau 3). A la balise n°10, le pourcentage de plagiotropes était de 20% en 2010, qualifié de moyen, et il est de 63% en 2015, qualifié de fort. A la balise n°9, ce pourcentage était de 80% en 2010 et il est de 73% en 2015, qualifié de fort pour ces deux mesures.

Tableau 3. Densités moyennes de faisceaux par mètre carré, déchaussement moyen (en cm) et pourcentage de rhizomes plagiotropes mesurés autour des balises 10 et 9 en 2007, 2008, 2009, 2010 et 2015. L'interprétation des valeurs de densité selon l'échelle établit par Pergent (2007) et l'interprétation des valeurs de déchaussement selon l'échelle établit par Charbonnel *et al*. (2000) sont indiquées.

Site témoin		**Balise 10**		**Balise 9**	
Profondeur (m)		4.2		3.1	
Densité moyenne de faisceaux par m²	**2007**	489 (±110)	Médiocre	541 (±145)	Médiocre
	2008	837 (±120)	Bonne	837 (±120)	Bonne
	2009	589 (±96)	Moyenne	541 (±50)	Médiocre
	2010	770 (±68)	Moyenne	763 (±97)	Moyenne
	2015	600 (±54)	Moyenne	700 (±89)	Moyenne
Déchaussement moyen (cm)	**2010**	0	Faible	0	Faible
	2015	3.4 (±1.3)	Faible	2.9 (±1.3)	Faible
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	**2010**	20	Moyen	80	Fort
	2015	63	Fort	73	Fort

Figure 22. Illustrations des stations de mesures des paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie au niveau de la balise 10 (haut) et de la balise 9 (bas).

- **<u>Site 1</u>**

Le site 1 est situé au Nord-Est des tubes géotextiles. Il est équipé par la balise n° 7 au Nord située à 4.2 m de profondeur et la balise n°8 au Sud à 4.7 m de profondeur. Aucune des deux balises n'a été retrouvée lors des investigations de terrain d'avril 2015.

Les densités moyennes de faisceaux sont stables au cours du temps (Tableau 4). Les valeurs sont qualifiées de médiocres à la balise 7 et de moyennes à la balise 8 selon la classification de Pergent (2007) qui intègre le paramètre de la profondeur.

Un léger déchaussement moyen est mesuré au niveau des 2 balises, inférieur à 5 cm, aussi bien en 2010 qu'en 2015 (Tableau 4). Ces valeurs indiquent l'absence de phénomène d'ensablement sur ce site.

Que ce soit à la balise 7 ou à la balise 8, le pourcentage de rhizomes plagiotropes est qualifié de fort en 2010 et en 2015 (Tableau 4).

Tableau 4. Densités moyennes de faisceaux par mètre carré, déchaussement moyen (en cm) et pourcentage de rhizomes plagiotropes mesurés autour des balises 7 et 8 en 2007, 2008, 2009, 2010 et 2015. L'interprétation des valeurs de densité selon l'échelle établit par Pergent (2007) et l'interprétation des valeurs de déchaussement selon l'échelle établit par Charbonnel *et al*. (2000) sont indiquées.

Site 1		**Balise 7**		**Balise 8**	
Profondeur (m)		4.2		4.7	
Densité moyenne de faisceaux par m²	**2007**	530 (±73)	Médiocre	648 (±84)	Moyenne
	2008	653 (±142)	Moyenne	653 (±142)	Moyenne
	2009	478 (±127)	Médiocre	567 (±114)	Moyenne
	2010	448 (±23)	Médiocre	681 (±82)	Moyenne
	2015	567 (±62)	Médiocre	583 (±62)	Moyenne
Déchaussement moyen (cm)	**2010**	3.7	Faible	3.7	Faible
	2015	2.5 (±1.0)	Faible	1.7 (±0.5)	Faible
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	**2010**	93	Fort	90	Fort
	2015	80	Fort	73	Fort

Figure 23. Illustrations des stations de mesures des paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie au niveau de la balise 7 (haut) et de la balise 8 (bas).

- **Site 2**

Le site 2 est situé à l'Est des tubes géotextiles. Il est équipé par la balise n° 6 au Nord placée à 4.2 m de profondeur et la balise n°3 au Sud placée à -4.3 m. Les deux balises ont été retrouvées lors des investigations de terrain de 2015.

Le Tableau 5 présente les valeurs des différents paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie mesurées au niveau des 2 balises.

Au cours du temps, la densité moyenne de faisceaux est restée stable. Elle est qualifiée de moyenne selon l'échelle de lecture de Pergent (2007).

Les valeurs de déchaussement moyen varient entre 2010 et 2015. A la balise 6, le déchaussement moyen était de 5.7 cm en 2010 alors qu'il n'est que de 3.4 cm en 2015, indiquant un phénomène d'ensablement sans conséquence pour l'herbier pour le moment. A l'inverse, au niveau de la balise 3, le déchaussement moyen était de 3 cm en 2010 et il est de 4.6 cm en 2015. Cette évolution indique une tendance inverse.

Les valeurs de pourcentage de rhizomes plagiotropes restent stables entre 2010 et 2015 au niveau de la balise 6. Les valeurs sont respectivement de 76% et de 87%, qualifiées de fortes. Au niveau de la balise 3, nous ne disposons pas de données pour les observations de 2010. Par contre, en 2015, le pourcentage de plagiotropes, bien que qualifié de fort, n'est que de 57%, bien en deçà des valeurs mesurées à la balise 6.

Tableau 5. Densités moyennes de faisceaux par mètre carré, déchaussement moyen (en cm) et pourcentage de rhizomes plagiotropes mesurés autour des balises 6 et 3 en 2007, 2008, 2009, 2010 et 2015. L'interprétation des valeurs de densité selon l'échelle établit par Pergent (2007) et l'interprétation des valeurs de déchaussement selon l'échelle établit par Charbonnel *et al*. (2000) sont indiquées.

Site 2		**Balise 6**		**Balise 3**	
Profondeur (m)		4.2		4.3	
Densité moyenne de faisceaux par m²	**2007**	504 (±46)	Médiocre	526 (±46)	Médiocre
	2008	703 (±86)	Moyenne	703 (±86)	Moyenne
	2009	419 (±156)	Médiocre	633 (±131)	Moyenne
	2010	633 (±47)	Moyenne	593 (±90)	Moyenne
	2015	633 (±82)	Moyenne	633 (±94)	Moyenne
Déchaussement moyen (cm)	**2010**	5.7	Moyen	3.0	Faible
	2015	3.4 (±1.3)	Faible	4.6 (±1.3)	Faible
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	**2010**	76	Fort	-	-
	2015	87	Fort	57	Fort

Figure 24. Illustrations des stations de mesures des paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie au niveau de la balise 6 (haut) et de la balise 3 (bas).

- **<u>Site 3</u>**

Le site 3 est localisé au Sud-Est des tubes géotextiles. Ce site est équipé par la balise n° 1 au Nord à une profondeur de 4.9 et la balise n°2 au Sud à 4.7 m. Seule la balise n°2 a été retrouvée lors des plongées d'investigation de 2015.

Au cours du temps, entre 2007 et 2015, les valeurs de densités moyennes de faisceaux restent stables. Elles sont qualifiées de médiocres à moyennes (Tableau 6).

Bien que qualifiées de faibles, les valeurs de déchaussement moyen sont différentes selon les balises (Tableau 6). A la balise 1, les valeurs moyennes sont stables entre 2010 et 2015, respectivement 4.6 cm et 3.9 cm. Par contre, à la balise 2, les valeurs de déchaussement ont tendance à augmenter au cours du temps. Le déchaussement était de 2.7 cm en 2010 et il est de 4.5 cm en 2015 indiquant une tendance à un désensablement.

Les proportions de rhizomes plagiotropes sont plus faibles au niveau de la balise 2, avec respectivement 56% de plagiotropes en 2010 et 67% en 2015. C'est au niveau de cette balise qu'un léger désensablement est observé. Au niveau de la balise 1, par contre, le pourcentage de rhizomes plagiotropes reste stable, avec 73% en 2010 et 83% en 2015 (Tableau 6).

Tableau 6. Densités moyennes de faisceaux par mètre carré, déchaussement moyen (en cm) et pourcentage de rhizomes plagiotropes mesurés autour des balises 1 et 2 en 2007, 2008, 2009, 2010 et 2015. L'interprétation des valeurs de densité selon l'échelle établit par Pergent (2007) et l'interprétation des valeurs de déchaussement selon l'échelle établit par Charbonnel *et al*. (2000) sont indiquées.

Site 3		**Balise 1**		**Balise 2**	
Profondeur (m)		4.9		4.7	
Densité moyenne de faisceaux par m²	**2007**	444 (±18)	Médiocre	615 (±58)	Moyenne
	2008	-	-	-	-
	2009	437 (±139)	Médiocre	567 (±119)	Moyenne
	2010	456 (±40)	Médiocre	500 (±40)	Médiocre
	2015	550 (±54)	Moyenne	500 (±41)	Médiocre
Déchaussement moyen (cm)	**2010**	4.6	Faible	2.7	Faible
	2015	3.9 (±2.5)	Faible	4.5 (±1.2)	Faible
Pourcentage de rhizomes plagiotropes	**2010**	73	Fort	56	Fort
	2015	83	Fort	67	Fort

Figure 25. Illustrations des stations de mesures des paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie au niveau de la balise 1 (à gauche) et de la balise 2 avec son flotteur (à droite).

4. Discussion et conclusion

La plage au Sud du port de La Capte est soumise à des phénomènes d'érosion liés aux aménagements côtiers impactant les transferts sédimentaires naturels. En 2008 et 2012, des atténuateurs de houle en géotextile ont été immergés afin de limiter l'érosion de la plage.

Un suivi de la limite supérieure de l'herbier de posidonie a été mis en place à partir de 2007, soit un an avant la pose du premier atténuateur. Ce suivi comprend une évaluation de l'évolution de la limite supérieure de l'herbier de posidonie à partir d'imageries aériennes et acoustiques (uniquement en 2008) et de parcours en GPS tracté (2010 et 2015). En parallèle, 4 sites ont été balisés dans lesquels des paramètres de vitalité de l'herbier ont été étudiés (densité, déchaussement et orientation des rhizomes). 3 de ces sites sont situés dans la zone d'influence des atténuateurs de houle et 1 site témoin est situé plus au Nord hors de la zone d'influence.

L'évolution temporelle de la limite supérieure de l'herbier de posidonie a été particulièrement étudiée au niveau des 4 sites balisés pour lesquels nous disposions de données anciennes précises (parcours en aquamètre et en GPS). Le site 1 présente de nombreux îlots d'herbier. Ceux-ci n'ont donc pas pu tous être détouré avec la méthode du GPS tracté. Il est alors possible que certains îlots d'herbier aient pu disparaitre entre 2011 et 2015 sans que cette méthode ne le mette en évidence. Seule une photo aérienne réalisée dans de bonnes conditions de visibilité permettrait de vérifier de façon exhaustive la pérennité de l'ensemble des îlots identifiés en 2011 (l'excellente qualité de la photo aérienne permet d'identifier l'ensemble des zones d'herbier). Cependant, avec les données disponibles, aucune régression d'herbier n'est observée dans ce site. Seuls des polygones mal interprétés et probablement stables au cours du temps ont pu être identifiés. Au niveau des sites 2 et 3, aucune régression de l'herbier de posidonie n'est observée entre 2003 et 2015 le long de la limite supérieure. Enfin, sur le site témoin, un polygone de 680 m² laisse apparaitre une possible régression de l'herbier entre 2003 et 2015.

Depuis le début du suivi de certains paramètres de vitalité de l'herbier de posidonie en 2007, aucune évolution majeure de ces paramètres n'a été mise en évidence. Dans l'ensemble des stations de mesures, la densité des faisceaux reste médiocre à moyenne. Ces résultats décevant pourraient être dû à la proximité de fleuves côtiers le long du littoral qui charrient des limons opacifiant la colonne d'eau et donc diminuant l'efficacité de la photosynthèse et la vitalité de la plante. Les mouvements sédimentaires et la remise en suspension des substrats meubles peuvent aussi expliquer ces résultats. Le rechargement en sable de la plage de La Capte ne semble pas s'être traduit par un ensablement de l'herbier. Outre l'absence de régression le long de la limite supérieure de l'herbier, les mesures de déchaussement ne mettent pas en évidence d'importants phénomènes d'ensablement. Quelques tendances à de l'ensablement ou au contraire à un déchaussement de l'herbier sont observées à certains points de mesures, sans pour autant l'existence de résultats marqués. Les observations faites lors des investigations de

2015 peuvent être la résultante de petits mouvements sédimentaires plus ou moins naturels sans conséquences pour l'herbier. D'ailleurs les mesures de pourcentage de rhizomes plagiotropes, traduisant une dynamique de colonisation de l'herbier, présentent des valeurs élevées indiquant une évolution positive de l'herbier.

L'immersion en 2008 et 2012 des atténuateurs de houle en géotextile face à la plage de La Capte ne semble pas, jusqu'à présent, provoquer de régressions de grande ampleur visibles le long des linéaires étudiées face aux sites d'étude. De plus, la stabilité temporelle des paramètres de vitalité mesurés semble indiquer l'absence d'atteintes structurelles à l'herbier de posidonie. Les faibles valeurs de densité relevées reflètent plutôt les caractéristiques intrinsèques de la zone.

5. Références bibliographiques

Antonioli P.A., Goujard A., Bonhomme D., Astruch P., 2010. Suivi de l'herbier de Posidonies autour du port de la Capte (Commune de Hyères les Palmiers) - Surveillance de l'impact environnemental de l'installation de tubes géotextiles et d'un rechargement en sable – Phase 3 du suivi. Novembre 2010. Contrat d'étude Mairie de Hyères les Palmiers et GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., 33 p.

Bay D., 1978. Etude in situ de la production primaire d'un herbier de posidonie, *Posidonia oceanica* (L.) Delile, dans la baie de Calvi, Corse. Thèse de la Faculté des Sciences de Liège : 1-251.

Bell J.D. et Harmelin-Vivien M.L., 1983. Fish fauna of french Mediterranean *Posidonia oceanica* seagrass meadows feeding habits. Tethys, 11: 1-14.

Blanc J.J., Jeudy de Grissac A., 1984. Erosions sous-marines des herbiers à *Posidonia oceanica* (Méditerranée). International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. et Olivier J. edit., GIS Posidonie publ., Fr., 1 : 23-28.

Boudouresque C.F. et Meinesz A., 1982. Découvertes de l'herbier de Posidonie. Cahier Parc national Port-Cros. Fr. 4 : 1-79 +1-3.

Boudouresque C.F. et Jeudy de Grissac A., 1983. L'herbier à *Posidonia oceanica* en Méditerranée, les interactions entre la plante et le sédiment. J. Rech. océanogr., 8 (2-3) : 99-122.

Boudouresque C.F., Giraud G., Panayotidis P., 1980. Végétation marine de l'île de Port-Cros. XIX. Mise en place d'un transect permanent. Travaux Scientifiques Parc national Port-Cros, 6 : 207-221.

Boudouresque C.F., Meinesz A., Ledoyer M., Vitiello P., 1994. Les herbiers à Phanérogames marines. *In* : Bellan-Santini D., Lacaze J.C., Poizat C. (edits), « Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée, synthèse, menaces et perspectives », Secrétariat de la Faune et de la Flore, Muséum National d'Histoire Naturelle (Coll. Patrimoines naturels, vol. 19), Paris : 98-118.

Boudouresque C.F., Bernard G., Bonhomme P., Charbonnel E., Diviacco G., Meinesz A., Pergent G., Pergent-Martini C., Ruitton S., Tunesi L., 2006. Préservation et conservation de l'herbier à *Posidonia oceanica*. Accord RAMOGE, Monaco et GIS Posidonie publ., 1-202.

Charbonnel E., Boudouresque C.F., Meinesz A., Pergent-Martini C., San-Martin G., Bertrandy M.C., Foret P., Ragazzi M., Leccia G., 2000. Le Réseau de Surveillance Posidonies de la Région Provence Alpes Côte d'Azur. Première partie : Présentation et Guide Méthodologique 1999. Seconde partie : résultats du suivi 1999. Région PACA/GIS Posidonie/CQEL 13/CQEL 83/Conseil Général 06/CQEL 06. GIS Posidonie publ., Marseille, Fr. : 1-60 + 1-116.

Francour P., 1990. Dynamique de l'écosystème à *Posidonia oceanica* dans le Parc national de Port-Cros. Analyse des compartiments matte, litière, faune vagile, échinodermes et poissons. Thèse de Doctorat Université Pierre et Marie Curie : 1-373.

Fourt M., Goujard A., 2011. Rapport scientifique de campagne MEDSEACAN (Têtes des canyons méditerranéens continentaux) novembre 2008 – avril 2010. Partenariat Agence des aires marines protégées – GIS Posidonie, GIS Posidonie publ., 60 p.

Gratiot J., Mannoni P-A., Meinesz A., 2006b. Impacts potentiels sur les herbiers de posidonies d'un rechargement en sable associé à la mise en place d'un atténuateur de houle en géotextile devant la plage de la Capte (Hyères). Contrat d'étude Mairie de Hyères les Palmiers / GIS Posidonie – LEML, GIS Posidonie publ., 15 p.

Gratiot J., Mannoni P-A., 2007. Impacts potentiels sur les herbiers de posidonies d'un rechargement en sable associé à la mise en place d'un atténuateur de houle en géotextile devant la plage de la Capte (Hyères). Contrat d'étude Mairie de Hyères les Palmiers / GIS Posidonie – LEML, GIS Posidonie publ., 31 p.

Gratiot J., de Vaugelas J., 2009a. Suivi de l'herbier de posidonies autour du port de la Capte (Commune de Hyères les Palmiers) - Surveillance de l'impact environnemental de l'installation de tubes géotextiles et d'un rechargement en sable. Décembre 2008. Contrat d'étude Mairie de Hyères les Palmiers / GIS Posidonie – LEML, GIS Posidonie publ., 60 p.

Gratiot J., de Vaugelas J., 2009b. Suivi de l'herbier de posidonies autour du port de la Capte (Commune de Hyères les Palmiers) - Surveillance de l'impact environnemental de l'installation de tubes géotextiles et d'un rechargement en sable – Phase 2 du suivi. Septembre 2009. Contrat d'étude Mairie de Hyères les Palmiers / GIS Posidonie – LEML, GIS Posidonie publ., 28 p.

Harmelin-Vivien M.L., 1983. Etude comparative de l'ichtyofaune des herbiers de phanérogames marines en milieu tropical et tempéré. Rev. Ecol. (Terre Vie), 38 : 179-210.

Harmelin-Vivien M., Harmelin J.G., Leboulleux V., 1995. Microhabitat recruitment for settlement of juveniles Sparid fishes on Mediterranean rocky shores. Hydrobiologia, 300/301: 309-320.

Jeudy de Grissac A., 1984. Effets des herbiers à *Posidonia oceanica* sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale. First International Workshop Pos*i*donia *oceanica*, Boudouresque C.F., Jeudy de Grissac A. et OLIVIER J., édits., GIS Posidonie publ., Marseille : 437-443.

Jeudy de Grissac A., Boudouresque C.F, 1985. Rôle des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements des sédiments côtiers : les herbiers à *Posidonia oceanica*. Colloq. Fr-jap. Océanogr., Marseille 16-21 sept., 1: 143-151.

Kikuchi T., 1980. Faunal relationships in the temperate seagrass beds in: Handbook of seagrass biology. Phillips R.C., McRoy C.P., éds., Garland publ., New-York : 153-172.

Kikuchi T., Peres J.M., 1973. Animal communities in the seagrass bed: a review. International Seagrass Workshop, Leiden : 27 p.

Ledoyer M., 1968. - Ecologie de la faune vagile des biotopes méditerranéens accessibles en scaphandre autonome (Région de Marseille principalement) IV. Synthèse de l'étude écologique. Rec. Trav. St. mar. Endoume, 44(60) : 125-295.

Libes M., 1984. Production primaire d'un herbier à *Posidonia oceanica* mesurée *in situ* par la méthode du carbone 14. Thèse de Doctorat 3ème cycle, Université Aix-Marseille II : 1-199.

Molinier R., Picard J., 1952. Recherches sur les herbiers de phanérogames marines du littoral méditerranéen français. Ann. Inst. Océanogr., 27 (3) : 157-234.

Ourgaud M., Ruitton S., Bell J.D., Letourneur Y., Harmelin J.G. et Harmelin-Vivien M.L., 2014. Response of a seagrass fish assemblage to improved wastewater treatment. Marine Pollution Bulletin 90 : 25-32.

Pergent G., 2007. Protocole pour la mise en place d'une surveillance des herbiers de posidonies. Programme « MedPosidonia » / CAR/ASP – Fondation d'entreprise TOTAL pour la Biodiversité et la Mer ; Mémorandum d'Accord N°21/2007/RAC/SPA/ MedPosidonia Nautilus-Okianos : 24 pp + Annexes.

Pergent G., Pergent-Martini C., Boudouresque C.F., 1995. Utilisation de l'herbier à *Posidonia oceanica* comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral de Méditerranée : Etat des connaissances. Mésogée, 54 :3-27.

Pergent-Martini C., 1994. Impact d'un rejet d'eaux usées urbaines sur l'herbier à *Posidonia oceanica,* avant et après la mise en service d'une station d'épuration. Thèse Doctorat Ecologie Marine, Université de Corse : 1- 208.

Rico-Raimondino V., 1995. Contribution à l'étude des stocks et flux d'éléments dans les herbiers à *Posidonia oceanica*. Thèse Doctorat « Ecologie », Université Aix-Marseille II : 1-248.