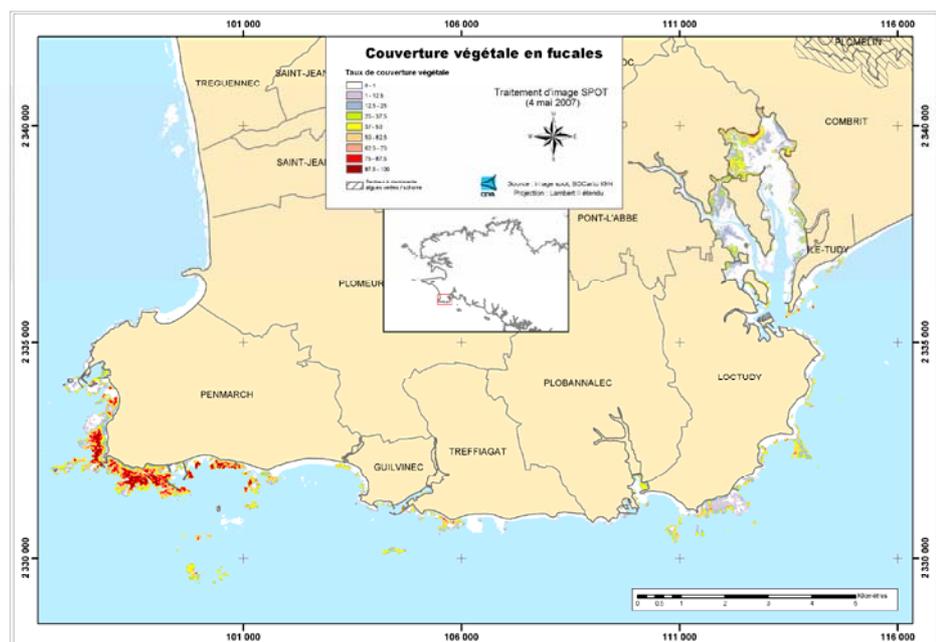


Cartographie de la couverture de Fucales en zone intertidale

Région Bretagne

> Zone Pointe de Penmarc'h – Moëlan-sur-Mer, Image Spot du 4 mai 2007

Edition 2008



Extrait de l'image Spot traitée du 12 mai 2007, zone de Concarneau – Glénan, CEVA

Sommaire

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | CONTEXTE ET OBJECTIFS | 1 |
| 2 | MATÉRIEL ET MÉTHODE | 2 |
| 2.1 | TRAITEMENT SPOT..... | 2 |
| 2.1.1 | <i>Calcul du VCI sur l'image du 4 mai 2007.....</i> | <i>2</i> |
| 2.1.2 | <i>Différentiel d'évolution de la couverture en fucales entre les images SPOT de 2007 et 1990.....</i> | <i>6</i> |
| 2.2 | RÉALISATION DE VÉRITÉS TERRAIN SUR DEUX SCÈNES SPOT RÉCENTES TRAITÉES EN 2006..... | 7 |
| 2.3 | RECHERCHE D'UN INDICATEUR DE DÉGRADATION DE LA CEINTURE DE FUCALES | 9 |
| 2.3.1 | <i>Dynamique altitudinale de la ceinture de fucales</i> | <i>9</i> |
| 2.3.2 | <i>Evaluation de la surface rocheuse colonisable</i> | <i>9</i> |
| 2.3.3 | <i>Elaboration d'un masque d'exposition à la houle.....</i> | <i>10</i> |
| 3 | RÉSULTATS | 13 |
| 3.1 | TRAITEMENT DE L'IMAGE SPOT DU 4 MAI 2007 | 13 |
| 3.1.1 | <i>Calcul du VCI.....</i> | <i>13</i> |
| 3.1.2 | <i>Différentiel d'évolution entre le 4 mai 2007 et le 27 mai 1990.....</i> | <i>13</i> |
| 3.1.3 | <i>Analyses surfaciques</i> | <i>13</i> |
| 3.2 | VALIDATION DES VCI À PARTIR DES POINTS DE VÉRITÉ-TERRAIN..... | 16 |
| 3.3 | RÉSULTATS DE L'ANALYSE DES POSSIBILITÉS MÉTHODOLOGIQUES DE DÉTERMINATION DU POTENTIEL DE COUVERTURE DES FUCALES..... | 18 |
| 3.3.1 | <i>Analyse de l'altitude.....</i> | <i>18</i> |
| 3.3.2 | <i>Etude de l'évolution des taux de couverture moyens après croisement des différentes couches. .</i> | <i>19</i> |
| 3.3.3 | <i>Conclusion</i> | <i>24</i> |

Annexes

| | |
|----------------|----|
| ANNEXE 1 | 25 |
| ANNEXE 2 | 27 |
| ANNEXE 3 | 29 |
| ANNEXE 4 | 32 |
| ANNEXE 5 | 37 |
| ANNEXE 6 | 41 |
| ANNEXE 7 | 45 |

Table des illustrations

Tableaux

| | |
|--|----|
| TABLEAU 1. HAUTEURS D'EAU EN DIFFÉRENTS POINTS DE L'IMAGE SPOT DU 4 MAI 2007 À 11 H 23 MIN (MARÉE DE COEFFICIENT 79). | 3 |
| TABLEAU 2 : COEFFICIENTS DE LA DROITE DES ROCHES : $XS3 = A.XS2 + B$, AVEC (XS2, XS3) LES VALEURS DES COMPTES NUMÉRIQUES DES PIXELS MINÉRAUX DANS LE CANAL ROUGE ET PROCHE INFRAROUGE, A LA PENTE, B L'ORDONNÉE À L'ORIGINE ET R ² LE COEFFICIENT DE CORRÉLATION. | 6 |
| TABLEAU 3 : VALEURS EN COMPTES NUMÉRIQUES DU PIXEL <i>ALGUE PURE</i> DANS LE CANAL ROUGE ET PROCHE INFRAROUGE. CES VALEURS SONT LES 3IÈMES QUARTILES DE TOUTES LES VALEURS ALGALES (CÔTE ET ÎLOTS)..... | 6 |
| TABLEAU 4. SYNTHÈSE SURFACIQUE DES TRAITEMENTS EN VCI ET DES DIFFÉRENTIELS SUR LES IMAGES DE 2007 ET 1990. | 14 |
| TABLEAU 5. SYNTHÈSE DES VCI DANS LES DIFFÉRENTS MASQUES D'OMBRAJE..... | 21 |
| TABLEAU 6. APPORT DE LA COUCHE ROCHEUSE DANS LE CALCUL DU TAUX DE COUVERTURE MOYEN EN FUCALES. | 24 |

Figures

| | |
|--|----|
| FIGURE 1. IMAGE SPOT 5 DU 4 MAI 2007..... | 2 |
| FIGURE 2. CALCUL DE L'ÉQUATION DE LA <i>DROITE DES ROCHES</i> . GRAPHIQUE DE RÉPARTITION DES POINTS DE RÉFÉRENCE SÉLECTIONNÉS PAR PHOTO-INTERPRÉTATION SUR L'IMAGE SPOT DU 4 MAI 2007. EN ABSCISSE, LE CANAL ROUGE XS2, EN ORDONNÉE LE CANAL PROCHE INFRAROUGE XS3. LES COULEURS DES POINTS REPRÉSENTENT UN TYPE DE SUBSTRAT (<i>EAU</i> EN BLEU, <i>ROCHE</i> EN NOIR, <i>VASE</i> EN GRIS, <i>SABLE</i> EN JAUNE ET <i>ALGUES</i> EN VERT). LES LIGNES NOIRES REPRÉSENTENT LES DIFFÉRENTES <i>DROITES DES ROCHES</i> SELON LES POINTS PRIS EN COMPTE POUR LA RÉGRESSION. | 4 |
| FIGURE 3. ETUDE DE LA RÉPONSE DES DIFFÉRENTES CIBLES DANS LE PROCHE INFRAROUGE (CANAUX XS3 ET XS4). | 5 |
| FIGURE 4. IMAGE SPOT 4 DU 27 MAI 1990 (TRAITÉE EN 2005) UTILISÉE POUR GÉNÉRER LE DIFFÉRENTIEL AVEC L'IMAGE DU 4 MAI 2007. | 7 |
| FIGURE 5. COMPARAISON DES TAUX DE COUVERTURE MESURÉS PAR LA MÉTHODE DES QUADRATS ET ÉVALUÉS VISUELLEMENT SUR LES 54 MÊMES POINTS TERRAIN. LES RÉSULTATS DONNÉS PAR LES DEUX MÉTHODES SONT TRÈS PROCHES. | 8 |
| FIGURE 6. A GAUCHE, ORTHOLITTORALE SUR UN PETIT SECTEUR CÔTIER DES ABERS. LE POLYGONE ROUGE EST LE TRAIT DE CÔTE DU SHOM. A DROITE, COUCHE ROCHEUSE IFRÈMER RETOUCHÉE PAR LE CEVA (POLYGOUES HACHURÉS), RÉFÉRENCE POUR LE MASQUAGE DES ROCHES..... | 10 |
| FIGURE 7. OMBRE GÉNÉRÉE D'APRÈS LE TRAIT DE CÔTE. PAR CE TRAITEMENT, LES ZONES EXPOSÉES ET ABRITÉES SONT DÉTERMINÉES UNIQUEMENT PAR LA PRÉSENCE D'ÎLES OU ÎLOTS ÉMÉRGÉS. LES NIVEAUX DE COULEUR DONNENT LE NOMBRE DE SUPERPOSITIONS D'OMBRES POUR DES DIRECTIONS VARIANT ENTRE 270 À 330° (O – NNO). PLUS LE PIXEL EST ROUGE, PLUS IL EST ABRITÉ DE LA HOULE. | 11 |
| FIGURE 8. OMBRE GÉNÉRÉE D'APRÈS LE MNT LIDAR. PAR CE TRAITEMENT, LES ZONES EXPOSÉES ET ABRITÉES SONT DÉTERMINÉES PAR LA TOPOGRAPHIE LOCALE. LES NIVEAUX DE COULEUR DONNENT LE NOMBRE DE SUPERPOSITIONS D'OMBRES POUR DES DIRECTIONS DE HOULE VARIANT ENTRE 270 ET 330° (O – NNO). PLUS LE PIXEL EST ROUGE, PLUS IL EST ABRITÉ DE LA HOULE. | 12 |
| FIGURE 9. ILLUSTRATION DE L'ÉVOLUTION DE LA COUVERTURE EN FUCALES AU NIVEAU DE LA POINTE DE MOUSTERLIN. EN HAUT VUE GLOBALE, EN BAS ZOOM SUR LA POINTE. A GAUCHE EN 1990, AU CENTRE EN 2007. A DROITE, LE DIFFÉRENTIEL DE COUVERTURE APRÈS TRAITEMENT DES IMAGES EN VCI FAIT APPARAÎTRE UNE FORTE RÉGRESSION DE COUVERTURE (ZONES BLEUES À BLEU-SOMBRE)..... | 14 |
| FIGURE 10. ILLUSTRATION DE L'ÉVOLUTION DE LA COUVERTURE EN FUCALES AU NIVEAU DE LA POINTE DE LA JUMENT. EN HAUT VUE GLOBALE, EN BAS ZOOM SUR LA POINTE. A GAUCHE EN 1990, AU CENTRE EN 2007. A | |

| | |
|---|---|
| <p> DROITE, LE DIFFÉRENTIEL DE COUVERTURE APRÈS TRAITEMENT DES IMAGES EN VCI FAIT APPARAÎTRE UNE FORTE RÉGRESSION DE COUVERTURE (ZONES BLEUES À BLEU SOMBRE)..... </p> <p> FIGURE 11. ILLUSTRATION DE L'ÉVOLUTION DE LA COUVERTURE EN FUCALES AU NIVEAU DES ÎLES DE GLÉNAN. EN HAUT VUE GLOBALE, EN BAS ZOOM SUR LA POINTE. À GAUCHE EN 1990, AU CENTRE EN 2007. À DROITE, LE DIFFÉRENTIEL DE COUVERTURE APRÈS TRAITEMENT DES IMAGES EN VCI FAIT APPARAÎTRE AUSSI BIEN DE FORTES RÉGRESSIONS DE COUVERTURE (ZONES BLEUES À BLEU SOMBRE) QUE DE FORTES PROGRESSIONS (ZONES ROUGES À ROUGE SOMBRE) ASSOCIÉES EN PARALLÈLE. CES FIGURES S'EXPLIQUENT PRINCIPALEMENT PAR LES DIFFÉRENCES DE RÉOLUTION ET DE GÉORÉFÉRENCIEMENT ENTRE LES DEUX IMAGES, ET DES CEINTURES ALGALES TRÈS ÉTROITES. </p> <p> FIGURE 12. CORRÉLATION ENTRE MESURES TERRAIN ET VCI CALCULÉS SUR LES DEUX IMAGES SPOT DU 29 AVRIL ET DU 12 AOÛT 2006..... </p> <p> FIGURE 13. À GAUCHE, VCI BRUT ISSU DU TRAITEMENT DE L'IMAGE SPOT DU 18 AVRIL 2003 À 10 MÈTRES DE RÉOLUTION. À DROITE, VCI APRÈS MASQUAGE DES PIXELS PAR LA COUCHE ROCHE. EN RAISON DE LA FINESSE DES POLYGONES DE ROCHES PAR RAPPORT À LA RÉOLUTION DES IMAGES SPOT, LES PIXELS ONT DU ÊTRE RÉÉCHANTILLONNÉS À 1 MÈTRE. </p> <p> FIGURE 14. VCI APRÈS MASQUAGE PAR LA COUCHE ROCHE ET LA COUCHE OMBRE (CALCULÉE SUR LE MNT LIDAR). LA DIFFÉRENCE DE RÉOLUTION ENTRE LES DONNÉES CAUSE UN ROGNAGE DES PIXELS, ASSEZ PEU COHÉRENT AVEC LA RÉALITÉ. </p> <p> FIGURE 15. CONSÉQUENCES DE L'APPLICATION DES DIFFÉRENTS MASQUES SUR LES DIFFÉRENTES VALEURS DE VCI </p> <p> FIGURE 16. ÉVOLUTION DE L'EFFECTIF DE CHAQUE CLASSE DE VCI EN FONCTION DU MASQUE D'OMBRE UTILISÉ. DE HAUT EN BAS, MASQUES D'INTENSITÉ D'OMBRAGE CROISSANTS (DU MOINS AU PLUS ABRITÉ). </p> | <p>15</p> <p>15</p> <p>17</p> <p>19</p> <p>20</p> <p>21</p> <p>23</p> |
|---|---|

1 CONTEXTE ET OBJECTIFS

La couverture totale en fucales (*Fucus* + *Ascophyllum*) et en laminaires (*Laminaria digitata*) a été retenue dans le cadre de REBENT comme indicateur de l'état de santé des grandes algues à une échelle zonale du linéaire côtier breton. Ces algues, typiques des zones rocheuses, constituent un compartiment potentiellement réactif aux évolutions de qualité des eaux côtières, et qui peut être de ce fait utilisé comme indicateur d'évolution.

Un protocole de suivi cartographique de la communauté macroalgale intertidale a été proposé dans le manuel de recommandations pour la surveillance DCE du Benthos marin élaboré par l'Ifremer. Ce protocole prévoit :

- L'exploitation de clichés satellitaires pour un suivi quantitatif de l'extension et du pourcentage de recouvrement de la ceinture algale intertidale dominée par les fucales, avec production de différentiels d'évolution en fonction des images d'archives disponibles.
- Des campagnes de vérités terrains permettant de valider les pourcentages de recouvrement des fucales, de séparer ces dernières de développements éventuels d'algues vertes (ou autres opportunistes) fixées sur substrats naturels comme en épiphytes, de préciser le statut des espèces de substitution dans les secteurs de retrait des ceintures de fucales.

La cartographie de la couverture en fucales par l'exploitation systématique de clichés Spot a permis, depuis le début du programme Rebent, de couvrir une large zone d'estran de Bretagne Nord (du nord de l'Aber Ildut au sud de Paimpol) et de Bretagne Sud (de Concarneau à la Baule). La production de différentiels d'évolution de la couverture en fucales par comparaison avec des images Spot d'archives a montré des résultats intéressants s'agissant notamment de la régression historique nette de la couverture en fucales sur la zone intertidale s'étendant de Quiberon au Croisic de même que sur celle du Trégor.

Le programme 2007 prévoyait le **traitement d'une scène Spot sur le secteur de Concarneau, des VT sur 2 scènes Spot récentes traitées en 2006** (Rade de Brest, Douarnenez et Abers - Large Iroise). Des **améliorations méthodologiques** ont aussi été recherchées au niveau du **traitement des images et concernant la définition d'un indicateur de qualité** et de dégradation de la ceinture de fucales basé sur la connaissance de leur potentiel de colonisation en situation de référence.

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1 Traitement Spot

2.1.1 Calcul du VCI sur l'image du 4 mai 2007

L'image SPOT de la zone, qui s'étend du sud de la Baie d'Audierne (Pointe de Penmarc'h) à Moëlan-sur-Mer (Finistère Sud), a été acquise en mode programmation le 4 mai 2007 à 11:23:58 TU, à une résolution de 10 m. La Figure 1 détaille l'emprise de l'image.



Figure 1. Image Spot 5 du 4 mai 2007.

Le niveau moyen des hauteurs d'eau au moment de l'acquisition de l'image est d'environ 1,39 m (se reporter au Tableau 1 ci-dessous pour les hauteurs d'eau en différentes localisations sur l'images). Cette valeur est très proche de la hauteur de la limite basse de la ceinture fucales (1,35 m) mesurée au GPS différentiel au niveau de Concarneau – Pendruc (1,28 m) et de Moëlan-sur-Mer (1,41 m) en 2005. La limite de l'eau sur l'image sera donc retenue comme la limite basse des fucales sans masquage supplémentaire.

| Id | Localisation | Hauteur d'eau (m) | Heure de basse mer (TU) |
|----|----------------|-------------------|-------------------------|
| 1 | Penmarc'h | 1,45 | 10:38 |
| 2 | Le Guilvinec | 1,35 | 10:45 |
| 3 | Loctudy | 1,35 | 10:40 |
| 4 | Benodet | 1,38 | 10:47 |
| 5 | Concarneau | 1,39 | 10:41 |
| 6 | Iles de Glénan | 1,41 | 10:41 |

Tableau 1. Hauteurs d'eau en différents points de l'image Spot du 4 mai 2007 à 11 h 23 min (marée de coefficient 79).

La chaîne de traitement employée dans cette étude est celle décrite en 2006 dans le cadre du rapport Rebent 2006. Elle est basée sur la chaîne de traitement classique (décrite dans la fiche technique FT 08-2003-01 disponible sur le site Internet du Rebent <http://www.rebent.org/>), mais modifiée pour être directement appliquée à l'image Spot brute en comptes numériques (CN), et non à une image passée en réflectance. Cette procédure de traitement, n'affectant pas les valeurs du VCI ni leur précision, permet de s'affranchir des campagnes de radiométrie et permet ainsi un gain de temps considérable (acquisitions de points de terrain réduite, étapes de traitement allégées). En outre, en maximisant le nombre points de référence pris sur l'image, cette méthode permet d'améliorer de manière significative les paramètres de calcul du VCI (*droite des roches* et *pixel algue pure*).

Pour ce traitement, 4585 pixels « minéraux » ont été récoltés sur la scène : 1119 points *roche*, 1892 points *sable*, 617 points *vase* et 957 points *eau*. Pour calculer le pixel *Algue pure*, les valeurs de 351 pixels ont été utilisées (232 sur les îles et 119 à la côte).

Dans cette méthode, le calcul du VCI est réalisé directement à partir de l'image brute en CN, sans application des gains de calibration absolus Spot pour le passage en luminance, ni passage en réflectance à partir de données terrain.

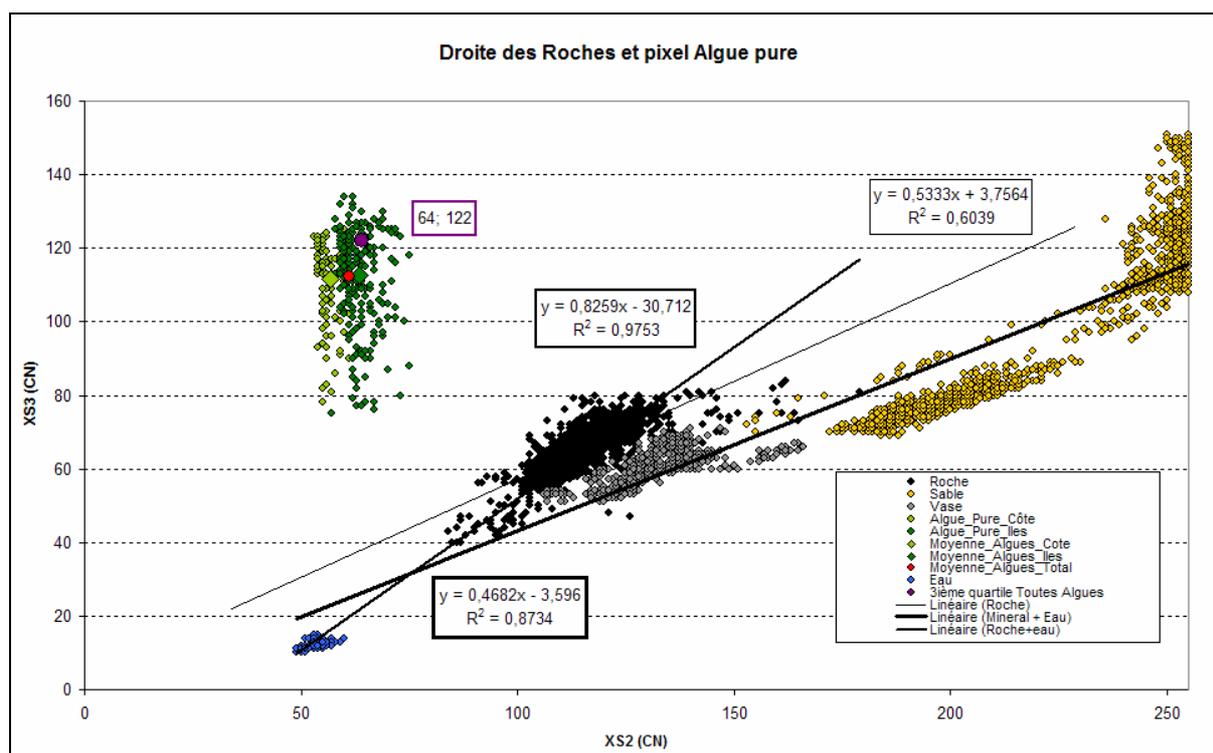


Figure 2. Calcul de l'équation de la *droite des roches*. Graphique de répartition des points de référence sélectionnés par photo-interprétation sur l'image Spot du 4 mai 2007. En abscisse, le canal rouge XS2, en ordonnée le canal proche infrarouge XS3. Les couleurs des points représentent un type de substrat (*eau* en bleu, *roche* en noir, *vase* en gris, *sable* en jaune et *algues* en vert). Les lignes noires représentent les différentes *droites des roches* selon les points pris en compte pour la régression.

Détail des paramètres utilisés pour le calcul du VCI :

- *Pixel algue pure*. Pour le calcul du VCI, un pixel représentatif d'une couverture en fucales à 100 % doit être déterminé. Ce pixel sert de référence pour le calcul. Il a été décidé de prendre le pixel algue pure au troisième quartile des pixels algues purs repérés sur les images (point violet Figure 2). Les valeurs retenues pour le pixel algue pure sont : $XS2_{AP} = 64$ et $XS3_{AP} = 122$ (en CN).
- *Droite des roches*. L'équation de la droite des roches est calculée à partir de la réflectance dans les canaux rouge et proche infrarouge de points minéraux pris en CN sur l'image (Figure 2 ci-dessus). Comme pour l'image du 12 août 2006 (traitée dans le cadre de Rebent 2006), on observe une saturation des valeurs dans le canal XS2 (rouge) pour les substrats les plus réfléchants de l'image (*sable*). Ces pixels ne doivent pas être pris en compte dans le calcul de la droite des roches. Les pixels vaseux ont des valeurs systématiquement supérieures à celles des roches dans le canal XS2. La prise en compte de ces pixels dans la droite des roches aurait tendance à surestimer systématiquement sur les VCI sur les roches, ils doivent être éliminés. La prise en compte de pixels d'eau pure permet d'augmenter la pente de la droite des roches, qui semble alors plus en accord avec les faibles valeurs de réflectance des roches sombres (souvent mouillées), permettant de rehausser faiblement le VCI sur ces substrats. Les coefficients de la droite des roches retenus sont : $a = 0,8259$ et $b = -30,712$.

- *Seuil sur XS3.* La réflectance de l'eau dans le proche infrarouge étant très faible, le seuillage dans ce canal permet de masquer l'image et ainsi de séparer la classe eau des autres substrats. La valeur retenue est $XS3_s = 40$, en dessous de cette valeur, les pixels sont arbitrairement classés en *eau* (code 150).
- *Seuil sur XS2.* En raison de la saturation dans le canal XS2 (cf. Figure 2), un seuil a été appliqué sur ce canal de manière à ne pas prendre en compte pour le calcul du VCI des pixels minéraux trop réfléchissants (majoritairement des pixels de sable) artificiellement positionnés au dessus de la droite des roches. La valeur retenue est $XS2_s = 200$, au dessus le VCI est arbitrairement ramené à 0 (minéral pur).
- *Seuil sur XS4.* Les nombreuses campagnes de vérités-terrains réalisées le long du littoral breton ont montré que les grandes algues brunes fixées (sargasses et himanthales), localement très abondantes, affleurant à la surface de l'eau à basse mer, pouvaient avoir une forte réponse dans le proche infrarouge (canal XS3), et ainsi contribuer de manière non négligeable au VCI. L'étude de la réponse spectrale de ces algues a permis de mettre en place un seuil de discrimination dans le canal XS4. La présence d'eau faisant baisser brutalement la réflectance dans ces longueurs d'ondes, la réflectance de ces algues, baignant dans l'eau, est très faible, nettement inférieure à celle des autres algues brunes de l'estran (même les algues très humides à la limite de l'eau). La Figure 3 ci-dessous illustre cette propriété. La valeur retenue pour le seuillage est $XS4_s = 25$, en dessous de cette valeur les pixels algaux sont considérés comme étant des algues flottantes, ils sont arbitrairement placés dans la classe *eau* (code 150).

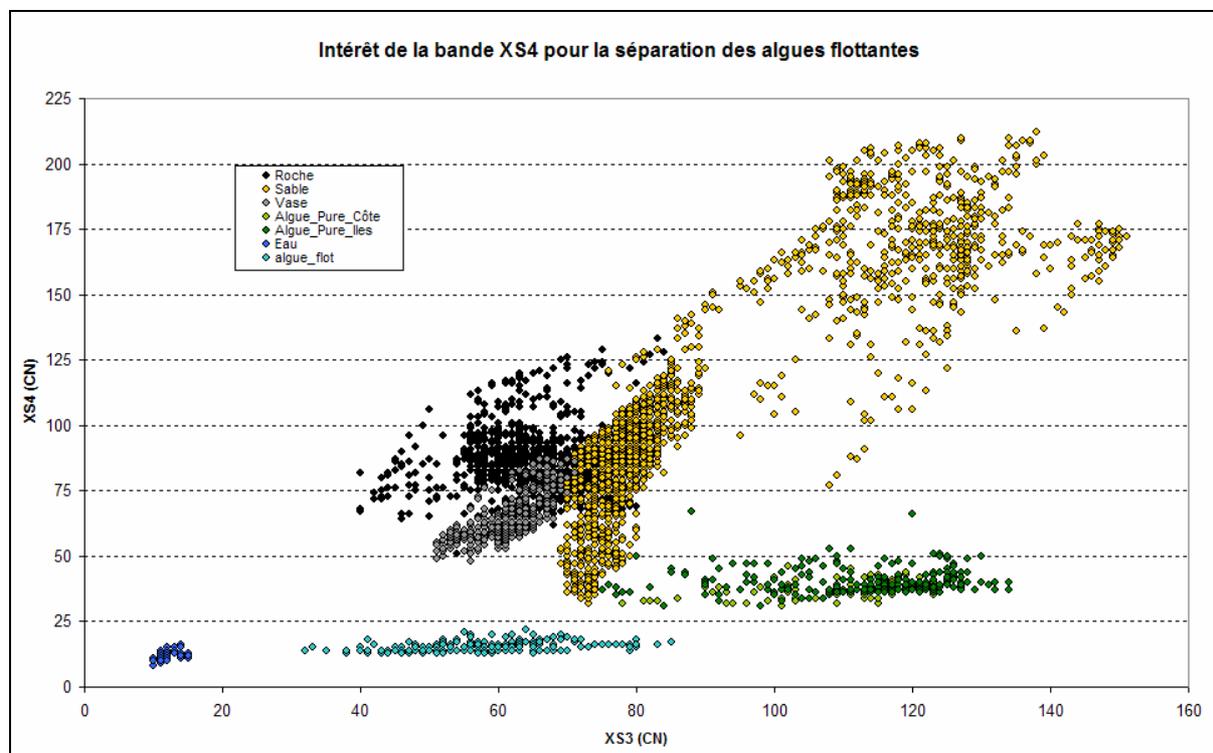


Figure 3. Etude de la réponse des différentes cibles dans le proche infrarouge (canaux XS3 et XS4) sur la scène Spot de Concarneau du 4 mai 2007.

Les paramètres pour le calcul du VCI sont synthétisés dans les tableaux et la figure suivants.

| | a | b | R ² |
|-------------------|--------|---------|----------------|
| Droite des Roches | 0,8259 | -30,712 | 0,9753 |

Tableau 2 : Coefficients de la droite des roches : $XS3 = a.XS2 + b$, avec (XS2, XS3) les valeurs des comptes numériques des pixels minéraux dans le canal rouge et proche infrarouge, *a* la pente, *b* l'ordonnée à l'origine et *R*² le coefficient de corrélation.

| | XS2 | XS3 |
|-------------------------|-----|-----|
| Pixel <i>Algue pure</i> | 64 | 122 |

Tableau 3 : Valeurs en comptes numériques du pixel *Algue pure* dans le canal rouge et proche infrarouge. Ces valeurs sont les 3ièmes quartiles de toutes les valeurs algales (côte et îlots).

Les traitements informatiques ayant trait aux images satellites SPOT ont été effectués à partir du logiciel de traitement d'images ENVI 4.4. La mise en forme de l'ensemble des cartes finales produites dans le présent rapport a été réalisée sous le logiciel SIG Arcgis 9.2..

2.1.2 Différentiel d'évolution de la couverture en fucales entre les images SPOT de 2007 et 1990

Une cartographie du différentiel d'évolution de la couverture en fucales à partir des images Spot du 27 mai 1990 (scène traitée en 2005, aperçu de l'image Figure 4 ci-dessous) et du 4 mai 2007 a été produite sur les zones de recoupement des 2 images soit de Sainte-Marine à Moëlan-sur-Mer.



Figure 4. Image Spot 4 du 27 mai 1990 (traitée en 2005) utilisée pour générer le différentiel avec l'image du 4 mai 2007.

Les cartes finales des taux de changement de couverture en fucales, générées à partir de la différence entre les valeurs de VCI de chaque image, sont élaborées uniquement sur les parties communes. L'image dont le niveau de l'eau est le plus haut sert de *masque mer* à la seconde, ainsi une différence de hauteur d'eau n'a pas d'influence sur les résultats. Le niveau d'eau sur l'image de 2007 étant de 1,39 m, et celui de l'image de 1990 étant très inférieur (0,95 m à Concarneau), c'est l'image de 2007 qui est utilisée pour le *masque mer*. Ce niveau d'eau étant très proche de la hauteur de la limite basse des fucales dans ce secteur, le différentiel couvre la quasi-totalité de la ceinture de fucales.

L'image Spot du 27 mai 1990, d'une résolution spatiale originale de 20 m, a été rééchantillonnée à 10 m pour le croisement avec l'image de 2007. Le pixel de départ est découpé en 4 pixels de même valeur numérique.

2.2 Réalisation de vérités terrain sur deux scènes Spot récentes traitées en 2006

Des mesures de taux de couverture sont réalisées sur le terrain de manière à valider les VCI calculés à partir des images Spot (Rade de Brest, Abers – Large, cf. rapport 2006). Ces mesures ont été réalisées selon un protocole de terrain qui a évolué dans le temps en fonction des caractéristiques de la ceinture algale et des résultats attendus. Les deux méthodes utilisées sont les suivantes :

- Mesures fines dans des cadrats de 100 m² (carrés de 10 m de coté) dans lesquels le taux de couverture en fucales est mesuré avec précision. Cette méthodologie, longue à mettre en place et à réaliser, ne permet qu'un nombre réduit de mesures à chaque basse mer. Elle a été utilisée en 2006 et 2007.
- Evaluation visuelle approximative du taux de couverture en fucales à l'échelle du pixel Spot par un opérateur de terrain confirmé. En 2007, plusieurs campagnes ont été effectuées avec les deux méthodes en parallèle, les résultats ont montré de très bonnes corrélations ($y = 1,0011x$ avec un R^2 égal à 0,97 voir graphique Figure 5). Cette méthode, très rapide à mettre en œuvre, permet d'acquérir de nombreuses données de terrain et d'avoir ainsi une meilleure statistique pour les validations. Les mesures 2008 ont été réalisées avec cette méthode.

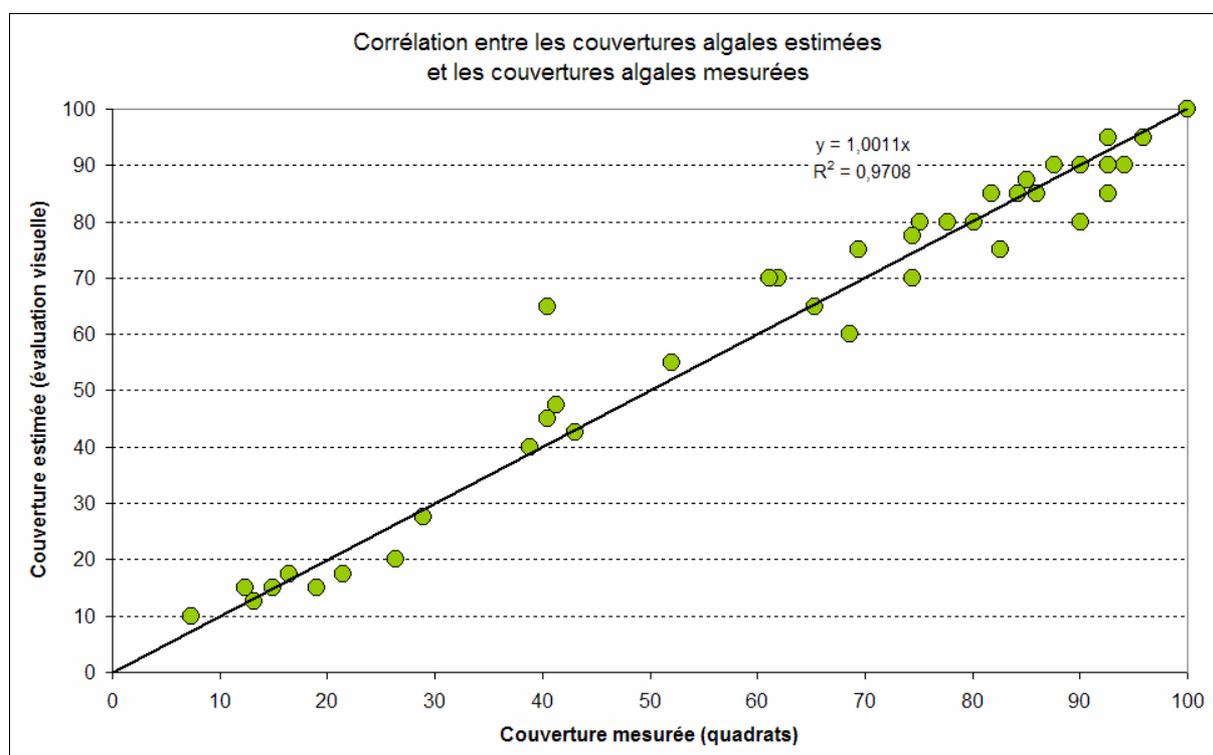


Figure 5. Comparaison des taux de couverture mesurés par la méthode des cadrats et évalués visuellement sur les 54 mêmes points terrain. Les résultats donnés par les deux méthodes sont très proches.

Les campagnes de validation terrain ont été réalisées au cours de 3 missions les 30 – 31 août et 10 – 11 octobre 2007, et le 21 mars 2008. Avec les campagnes de 2006 sur les mêmes images, 535 points terrain ont été recueillis (couverture algale, limites de ceintures, altitudes DGPS), dont 107 points de couverture en fucales utiles aux validations des VCI Spot. Se reporter aux cartes en Annexe 6 pour les localisations.

A chaque point de validation de la couverture, on a noté la présence éventuelle d'algues opportunistes, en mélange dans les ceintures ou en épiphytes, ainsi que la présence d'espèces animales de substitution telles que les moules, les huîtres ou les patelles.

2.3 Recherche d'un indicateur de dégradation de la ceinture de fucales

Une action spécifique de détermination d'un nouvel indicateur de l'état de santé des macroalgues a été engagée. Il serait basé sur la connaissance du potentiel de couverture en situation de référence, qui pourrait être comparé à la couverture réelle en zones plus ou moins dégradées telles que cartographiées par Spot.

Cet indicateur serait ainsi défini par le rapport entre la surface en fucales estimée en équivalent 100 % (au moyen de l'image SPOT traitée en taux de couverture) et la surface de leur habitat potentiel. La difficulté de la méthode revient à déterminer l'étendue de cet habitat potentiel, dans lequel les algues seraient couvrantes à 100 % dans les conditions optimales. Trois facteurs principaux contrôlent cet habitat potentiel : l'étagement, la présence d'un substrat rocheux dur, et l'exposition à la houle.

2.3.1 Dynamique altitudinale de la ceinture de fucales

Dans le but de consolider en secteur de référence (au large) la mesure de potentiel altitudinal de la ceinture de fucales, déjà obtenue en secteur abrité de la côte des Abers les années précédentes, une action spécifique de détermination de la limite haute des fucales a été engagée au moyen d'un DGPS sur les secteurs exposés et abrités de Molène, secteur de référence présumé réunir, comme les îles en général, des conditions originelles pour les ceintures algales. L'idée était de définir pour la masse d'eau un potentiel d'expansion altitudinal à croiser avec des surfaces de roches colonisables, pour aboutir à des pourcentages de couverture par rapport à leur potentiel.

Les mesures ont été effectuées au cours d'une mission réalisée entre le 9 et le 11 octobre 2007. 98 points de mesure ont été enregistrés, avec une précision centimétrique en altitude, sur la limite haute de la ceinture (détail en Annexe 7 : localisation et altitude).

2.3.2 Evaluation de la surface rocheuse colonisable

Dans cette approche, la difficulté majeure réside dans l'évaluation de la surface rocheuse potentielle de colonisation sur des estrans particulièrement complexes et étendus tels que ceux des Abers. L'utilisation des orthophotographies littorales dans leur résolution native (format Tiff) n'a pas permis de procéder avec d'avantage de fiabilité et de finesse au contourage des multiples zones rocheuses en comparaison du format compressé (format ECW). La mise en place de l'indicateur est donc très gênée par cet obstacle. Les deux solutions envisagées fin 2007 n'ont pas été retenues pour des raisons techniques : la photo-interprétation du substrat rocheux à partir de supports argentiques non scannés, outre les temps nécessaires à la renumérisation et au géoréférencement de nombreux clichés papier, risque de n'apporter que très peu d'informations supplémentaires, quant au contourage au GPS de secteurs rocheux potentiellement colonisables, c'est un travail fastidieux et long, peu compatible avec l'étendue géographique et la durée de cette étude.

Pour progresser dans cette recherche, diverses couches de données ont été récupérées auprès de l'Ifremer, compilées et complétées sur l'estran pour fournir une classification en 3 types de substrats : *Roche*, *Sable* et *Vase*. Se reporter à l'Annexe 1 pour le détail des différentes couches utilisées. Cette couche a été générée dans le cadre du programme *DCE Seuils : Mise en place d'un outil de classification pour les blooms à Ulves*. Un exemple sur la côte du Trégor est présenté en Annexe 1.

La couche *Roche* extraite de ce traitement a été utilisée comme surface de référence pour générer le masque *Roche* appliqué au VCI : ne sont gardés que les pixels inclus dans les polygones rocheux, toute les autres valeurs sont ramenées à zéro. La Figure 6 présente l'Ortholittorale et le trait de côte du Shom sur un petit secteur côtier des Abers dans lequel seront détaillées les différentes étapes du traitement, ainsi que la couche rocheuse sur le même secteur.

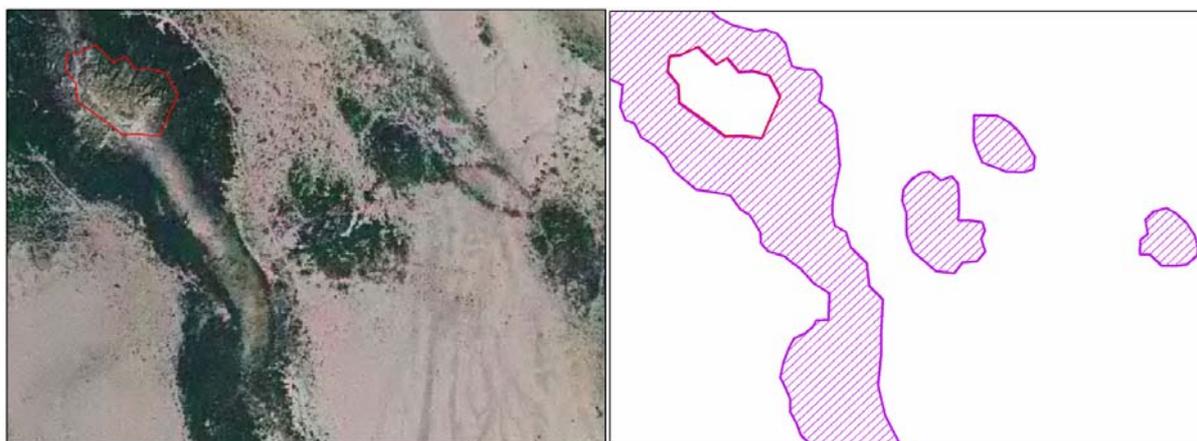


Figure 6. A gauche, Ortholittorale sur un petit secteur côtier des Abers. Le polygone rouge est le trait de côte du Shom. A droite, couche rocheuse Ifremer retouchée par le Ceva (polygones hachurés), référence pour le masquage des roches.

2.3.3 Elaboration d'un masque d'exposition à la houle

L'hydrodynamisme est un facteur naturel qui contrôle la colonisation des fucales indépendamment du niveau de qualité du milieu. Dans le but de rechercher les limites naturelles d'exposition pour l'établissement des ceintures, un modèle d'exposition / abri à la houle a été élaboré à partir de la topographie locale. Deux sources de données ont été utilisées pour générer le masque : le trait de côte du Shom et le MNT Lidar.

Ombrage par le trait de côte

Le trait de côte du Shom a l'avantage d'être disponible à l'échelle de la Bretagne entière. En cas de résultats concluants, il pourrait permettre la mise en place rapide de l'indicateur à grande échelle.

Dans ce traitement, le trait de côte est utilisé pour générer le masque d'ombrage. Les ombres ont été simulées pour plusieurs directions de houle, tous les 5° entre 270 et 330° (de secteurs Ouest à Nord-Nord-Ouest), puis sommées et compilées. Ainsi, plus la valeur d'ombrage est forte, plus l'abri est important. La distance maximale de l'ombre a arbitrairement été fixée à 300 mètres.

La Figure 7 illustre les résultats de ce traitement : les valeurs d'ombrage s'échelonnent de 1 (très faible) à 13 (très fort). En Annexe 2, on trouvera un exemple de masquage à plus grande échelle : en haut, le VCI brut, en centre, l'ombre projetée pour l'azimut de houle 300°, et en bas, le VCI après masquage sur les plus fortes valeurs d'ombrage.

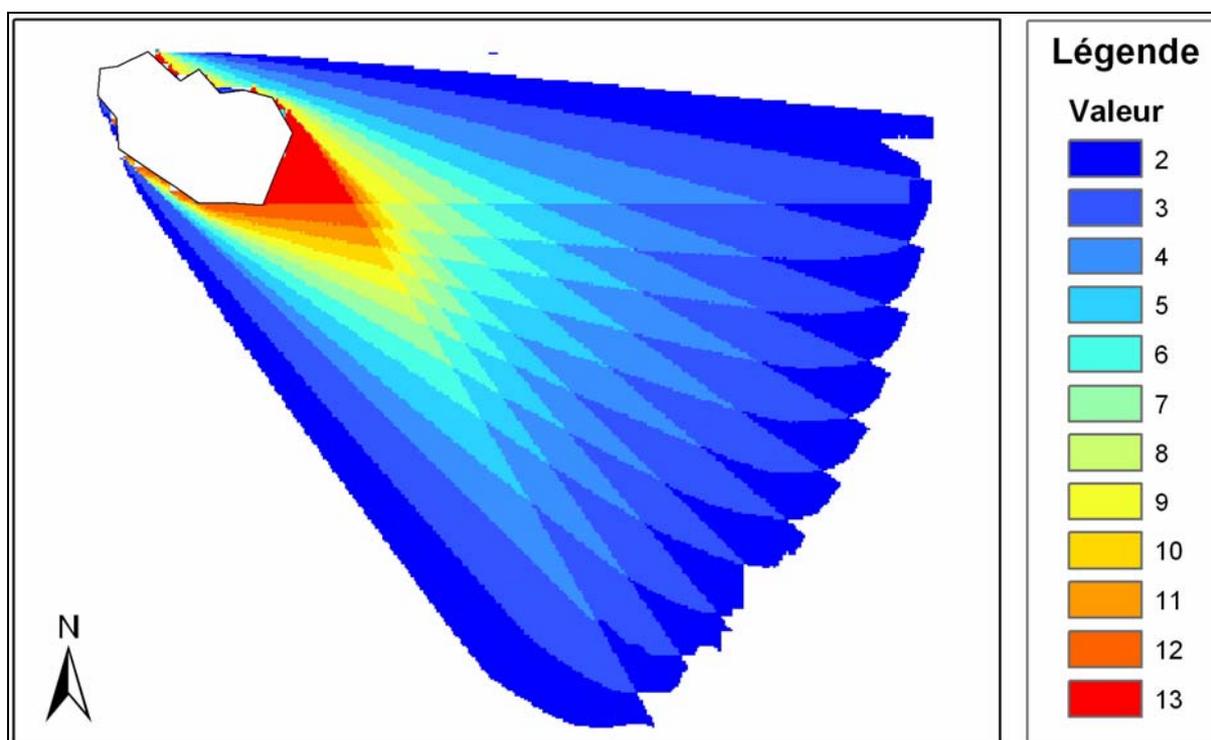


Figure 7. Ombre générée d'après le trait de côte. Par ce traitement, les zones exposées et abritées sont déterminées uniquement par la présence d'îles ou îlots émergés. Les niveaux de couleur donnent le nombre de superpositions d'ombres pour des directions variant entre 270 à 330° (O – NNO). Plus le pixel est rouge, plus il est abrité de la houle.

Ombre altimétrique par le lidar

Sur le secteur des Abers, nous disposons d'un MNT issu d'une acquisition Lidar, résolution horizontale de 2 mètres, précision altimétrique à 10^{-4} m. Selon le même procédé que pour le trait de côte Shom, des ombres sont générées des azimuts de houle variant entre 270° et 330° et compilées en une couche unique (somme des différents azimuts). La Figure 8 ci-dessous présente les résultats : plus la couleur est rouges, plus l'ombrage est important et l'abri fort.

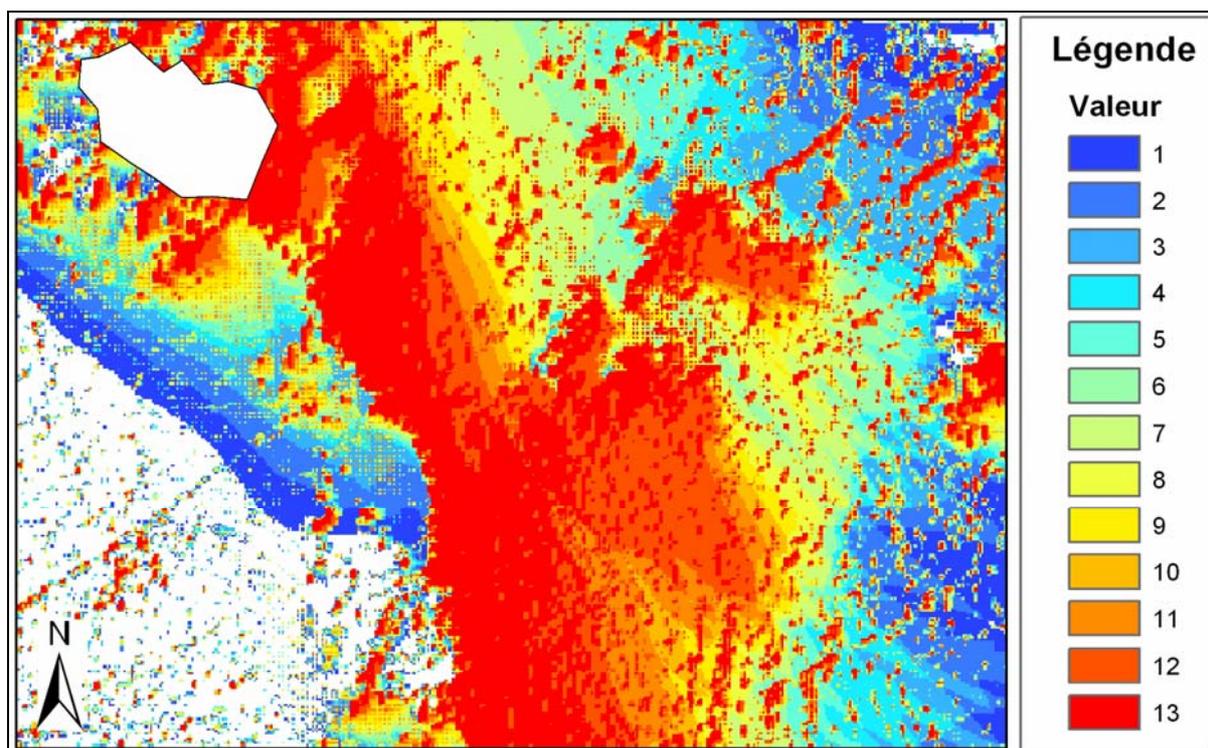


Figure 8. Ombre générée d'après le MNT Lidar. Par ce traitement, les zones exposées et abritées sont déterminées par la topographie locale. Les niveaux de couleur donnent le nombre de superpositions d'ombres pour des directions de houle variant entre 270° et 330° (O – NNO). Plus le pixel est rouge, plus il est abrité de la houle.

3 RÉSULTATS

3.1 Traitement de l'image Spot du 4 mai 2007 sur le secteur de Concarneau

3.1.1 Calcul du VCI

Les cartes finales exprimant le taux de couverture en fucales pour l'image Spot du 4 mai 2007 sont reportées en Annexe 4.

Sur les cartes, le VCI est représenté sous forme de classes de couleurs qui mettent en évidence les plus faibles et fortes densités. 9 classes ont été créées pour la représentation :

- 0 % Estran nu (roches de haut d'estran, sable)
- 1 - 12,5 % Très faible couverture algale (peu significative)
- 12,5 - 25 % Faible couverture algale
- 25 - 37,5 % Faible couverture algale
- 37,5 - 50 % Couverture algale moyenne
- 50 - 62,5 % Couverture algale moyenne
- 62,5 - 75 % Forte couverture algale
- 75 - 82,5 % Forte couverture algale
- 82,5 - 100 % Forte couverture algale (la quasi-totalité du substrat est couvert).

3.1.2 Différentiel d'évolution entre le 4 mai 2007 et le 27 mai 1990

En Annexe 5, on trouvera les cartes montrant l'évolution du taux de couverture en fucales entre l'image du 4 mai 2007 (résolution spatiale 10 mètres) et celle 27 mai 1990 (résolution spatiale originale de 20 mètres), et ce à l'échelle de recoupement des 2 images (de Sainte Marine à Moëlan-sur-Mer).

Comme pour les traitements 2006, le code de couleurs de la légende a été modifié de manière à ne laisser apparaître que les plus fortes variations de taux de couverture. Les variations négatives inférieures à -20 % sont en bleu, les variations positives supérieures à +20 % sont en rouge. Les variations comprises entre -20 % et +20 % ne sont plus figurées.

Ce changement de légende permet de masquer les plus faibles variations, pas ou peu significatives, qui perturbent l'analyse et masquent les grandes tendances.

3.1.3 Analyses surfaciques

D'une manière générale, à part au niveau des Iles de Glénan et de quelques pointes rocheuses côtières, les estrans sont étroits et les surfaces en fucales sont faibles et peu denses, il est donc difficile de mettre en évidence les zones de variation. Le Tableau 4 ci-dessous présente les résultats en VCI et différentiels surfaciques à l'échelle de l'image entière et de trois secteurs d'intérêt : les Iles de Glénan et les Pointes de la Jument et de Moustierlin.

Les zones côtières les plus denses, sur pointes rocheuses notamment comme la Pointe de la Jument et la Pointe de Moustierlin, montrent de fortes régressions entre 1990 et 2007 avec respectivement 56 % et 41 % de régression de la couverture en algues. Les Figure 9 et Figure 10 ci-dessous illustrent ces disparitions locales (images Spot brutes de 1990 et 2007 et les traitements en différentiels).

Les Iles de Glénan (55,5 ha en équivalent 100 % en 2007) subissent aussi une régression surfacique, mais beaucoup moins importante (- 13 %) depuis 1990. La Figure 11 présente le différentiel dans ce secteur. Les fortes diminutions et augmentations surfaciques observées semblent plus être dues aux artefacts du traitement (différence de résolution, géoréférencement), qu'à une réalité sur le terrain.

| Site | Surface d'estran | Surface algale (équivalent 100 %) | Couverture algale moyenne | Evolution 1990 – 2007 Couverture en fucales | |
|------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------|--|---------|
| Image 04/05/2007 | 1904,3 ha | 273,3 ha | 14,4 % | -39,3 ha | |
| Pointe de la Jument | 19,6 | 3,1 ha | 15,7 % | -3,9 ha | -56,1 % |
| Iles de Glénan | 153,1 | 55,5 ha | 36,6 % | -8,1 ha | -12,8 % |
| Pointe de Moustierlin | 26,9 | 3,7 ha | 13,7 % | -2,5 ha | -40,9 % |

Tableau 4. Synthèse surfacique des traitements en VCI et des différentiels sur les images de 2007 et 1990.

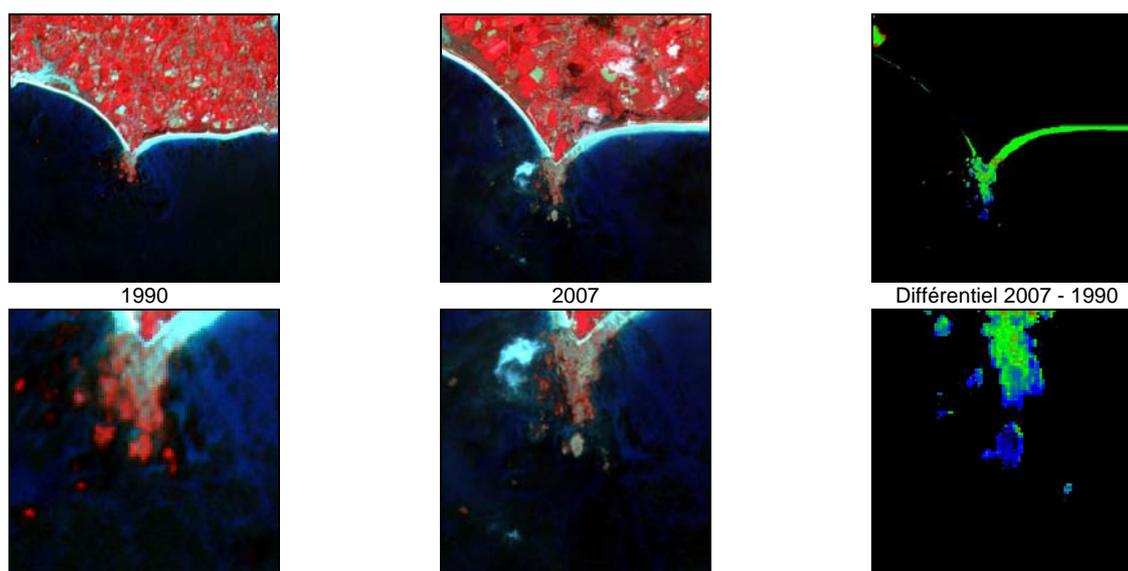


Figure 9. Illustration de l'évolution de la couverture en fucales au niveau de la Pointe de Moustierlin. En haut vue globale, en bas zoom sur la pointe. A gauche en 1990, au centre en 2007. A droite, le différentiel de couverture après traitement des images en VCI fait apparaître une forte régression de couverture (zones bleues à bleu-sombre).

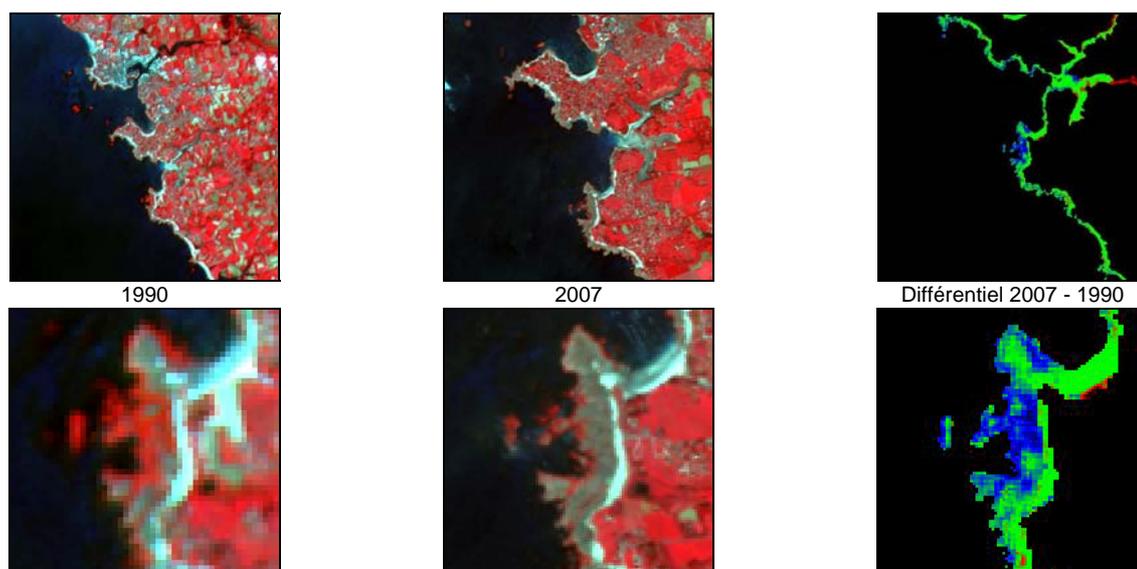


Figure 10. Illustration de l'évolution de la couverture en fucales au niveau de la Pointe de la Jument. En haut vue globale, en bas zoom sur la pointe. A gauche en 1990, au centre en 2007. A droite, le différentiel de couverture après traitement des images en VCI fait apparaître une forte régression de couverture (zones bleues à bleu sombre).

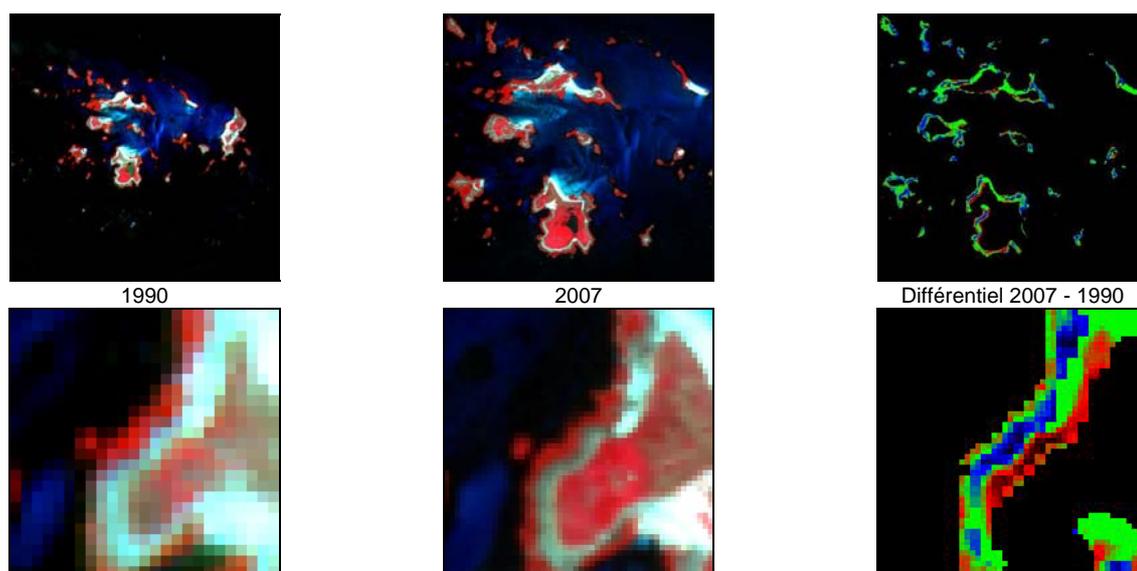


Figure 11. Illustration de l'évolution de la couverture en fucales au niveau des Isles de Glénan. En haut vue globale, en bas zoom sur la pointe. A gauche en 1990, au centre en 2007. A droite, le différentiel de couverture après traitement des images en VCI fait apparaître aussi bien de fortes régressions de couverture (zones bleues à bleu sombre) que de fortes progressions (zones rouges à rouge sombre) associées en parallèle. Ces figures s'expliquent principalement par les différences de résolution et de géoréférencement entre les deux images, et des ceintures algales très étroites.

La méthodologie de traitement est source de petites imprécisions qui peuvent avoir des conséquences sur le calcul et la représentation des différentiels :

- L'imprécision du géoréférencement, notamment visible sur les différentiels par des bandes parallèles alternées rouges et bleues (augmentation / régression) autour des ceintures de fucales. Ce phénomène est encore plus observable lors de la comparaison de 2 images de résolutions différentes, où la précision du calage de l'image à 20 m est moins bonne que pour celle de l'image à 10 m.

- D'une manière générale, pour un même objet observé, les valeurs des pixels d'une image Spot à 20 m de résolution ont tendance à être moyennées par rapport à une image à 10 m. Les VCI qui en résultent sont donc aussi moyennés sur l'image à 20 m, et les plus fortes et plus faibles valeurs présentes sur l'image à 10 m ne sont pas retrouvées. Il en résulte, en effectuant un différentiel « *Image à 10 m – Image à 20 m* », une régression des VCI dans les plus faibles taux de couverture (en périphérie des ceintures de fucales), et une augmentation dans les plus forts taux de couverture (au milieu de la ceinture de fucales). Des illustrations de ce phénomène sont détaillées dans le rapport Rebent 2006.

3.2 Validation des VCI à partir des points de vérité-terrain sur les scènes Spot de 2006, Rade de Brest, Abers – Large Iroise

Les cartes de localisation des points de mesure terrain acquis en 2007 et 2008 utilisés pour les validations, sont présentées en Annexe 6.

En raison des différences d'emprises des images et de la présence de nuages masquant certains secteurs, le nombre de points utilisés pour les validations ne sont pas identiques pour les deux images : 68 points ont été utilisés pour l'image du 29 avril et 77 pour celle du 12 août. Les points ainsi que les droites de régression sont visualisables sur la Figure 12.

Deux points, dont les valeurs semblent aberrantes, ont été retirés des régressions pour l'image du 29 avril (la présence d'un dépôt algal ponctuel et localisé, léger décalage entre l'image et le point terrain).

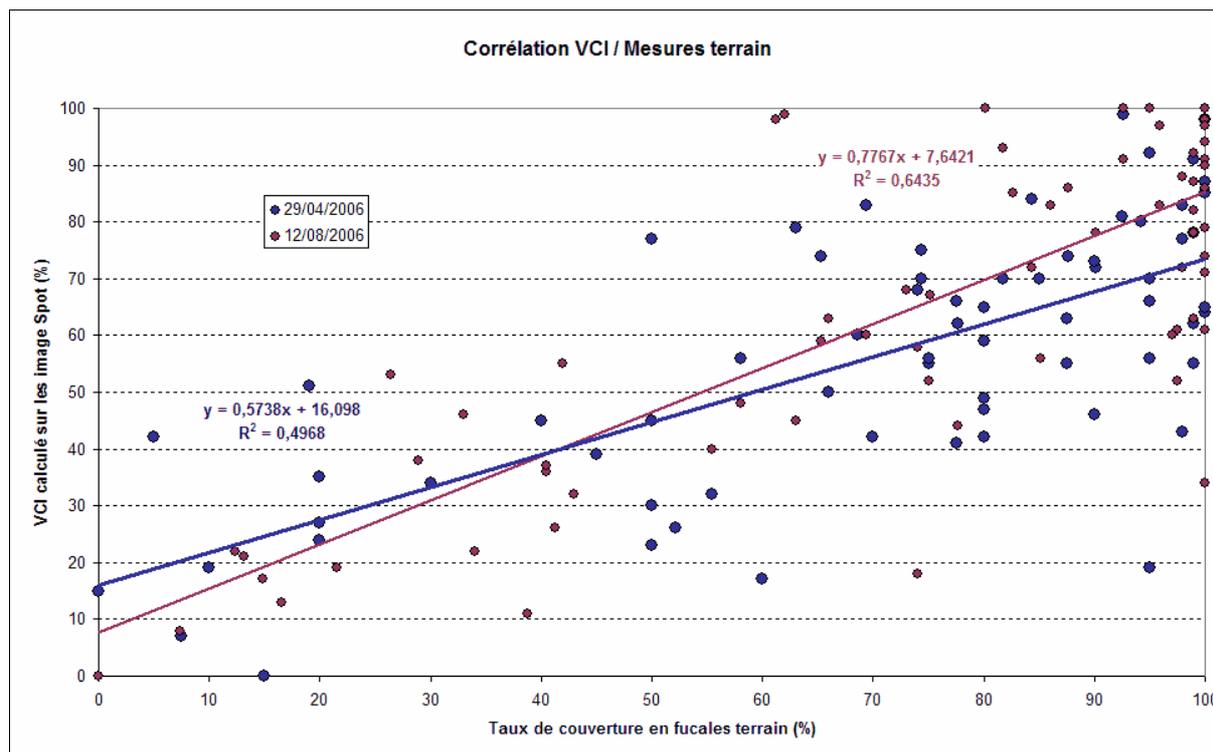


Figure 12. Corrélation entre mesures terrain et VCI calculés sur les deux images Spot du 29 avril et du 12 août 2006.

Les coefficients de détermination (R^2) des droites de régression sont moyens (0,50 pour l'image du 29 avril et 0,64 pour le 12 août), synonyme d'une assez forte dispersion des points autour de la droite de régression. Cette dispersion illustre les difficultés rencontrées pour la validation des résultats notamment à cause des différentes échelles et résolutions d'observation (surtout si l'image Spot est à 20 m), des erreurs dues au calage (image Spot, précision du GPS) sur un terrain où les données mesurées sont spatialement et temporellement (degrés d'hydratation des algues) très variables.

Les données d'observation indiquent que les secteurs à faibles taux de couverture du substrat rocheux ne sont envahis par des espèces de substitution que dans certaines zones comme par exemple la Presqu'île de Crozon ou la Rade de Brest. La Figure 13 ci-dessous présente des exemples sur Crozon.

L'ensemble de ces observations de terrain est consigné dans une base de donnée Excel, avec les coordonnées des points, les numéros de photos terrain correspondantes, les taux de couvertures en fucales, les observations et évaluations quantitatives des espèces de substitution.



Figure 13. Photographies illustrant les espèces de substitution rencontrées dans le nord de Crozon. A gauche, algues vertes (type ulves) et balanes fixées dans les *Fucus serratus*. A droite, colonie de moules dans et autour de la ceinture d'*Ascophyllum nodosum*.

3.3 Résultats de l'analyse des possibilités méthodologiques de détermination du potentiel de couverture des fucales

3.3.1 Analyse de l'altitude

Les données acquises entre le 9 et le 11 octobre 2007 ont été dépouillées (acquisition de 98 points de mesures) et sont présentés sur la carte en Annexe 7. Les mesures aboutissent à une hauteur moyenne de la limite haute des fucales estimée à 5,01 mètres au dessus du zéro SHOM (mesure sur la limite supérieure effectuée très majoritairement sur l'espèce *Ascophyllum nodosum* présente massivement sur l'ensemble du pourtour de l'Ile de Molène).

La comparaison avec les mesures réalisées de mai à août 2004 sur la zone des Abers dans le cadre du programme REBENT (+ 5.99 m *Ascophyllum nodosum* et + 6.38 m pour *Fucus spiralis* pour leur limite supérieure) ne montre pas une dynamique d'étagement plus importante sur les îles que sur la côte. La différence entre les mesures (inférieure de près d'un mètre sur les îles), pourrait être due à la différence de marnage moyen (niveau moyen de la mer égal à 3.84 m pour le site de Molène contre 4.34 m à la côte).

Les relevés réalisés sur Molène montrent la présence importante de l'espèce *Ascophyllum nodosum* à la fois sur les zones qui semblent battues (exposition sud ouest à nord ouest) et abritée (exposition est à sud est) rendant compte au passage de la difficulté à différencier les modes battus et abrités en terme de présence d'*Ascophyllum nodosum*. Toutefois, la définition de zones battues et abritées sur ce secteur s'avère particulièrement délicate en raison de la présence d'un vaste plateau rocheux à l'ouest immédiat de Molène qui, très probablement, atténue fortement les houles dominantes d'où la présence massive de *Ascophyllum nodosum* a toutes les expositions.

3.3.2 Etude de l'évolution des taux de couverture moyens après croisement des différentes couches.

Dans un premier temps, en raison de sa meilleure concordance avec la réalité, seul le masque d'exposition réalisé à partir du MNT Lidar a été appliqué au VCI (comparer les Figure 7 et Figure 8 avec l'Ortholittorale Figure 6).

En Annexe 3 sont présentées des cartes montrant les résultats des traitements sur deux secteurs de l'image. Les cartes Figure 14 et Figure 15 ci-dessous détaillent les résultats sur le secteur rocheux d'étude. Dans un premier temps, le VCI est masqué par la couche roche, Figure 14, il est ensuite masqué par la couche d'ombrage, Figure 15.

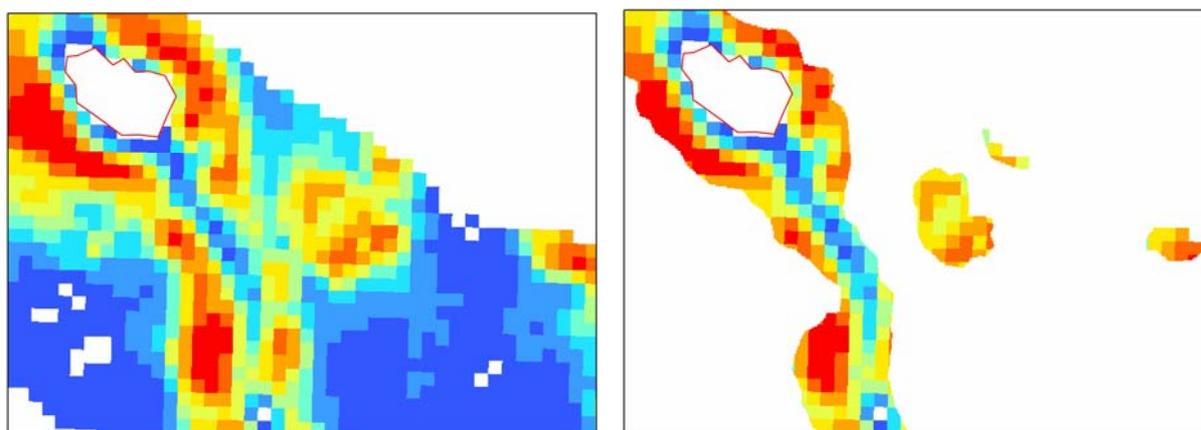


Figure 14. A gauche, VCI brut issu du traitement de l'image Spot du 18 avril 2003 à 10 mètres de résolution. A droite, VCI après masquage des pixels par la couche roche. En raison de la finesse des polygones de roches par rapport à la résolution des images Spot, les pixels ont du être rééchantillonnés à 1 mètre.

La première étape du masquage supprime majoritairement des pixels de faible VCI (pixels bleus Figure 14). Pour chaque zone rocheuse, les pixels périphériques sont rognés, mais les polygones rocheux étant de taille importante par rapport à la résolution Spot, chaque zone rocheuse est constituée de plusieurs polygones, dont les plus centraux restent entiers.

Le masque d'exposition est une couche raster, qui n'a pas d'unité topologique. A cause de la différence de résolution, on obtient un effritement des pixels de VCI qui semblent rongés de l'intérieur par les pixels du masque (Figure 15).

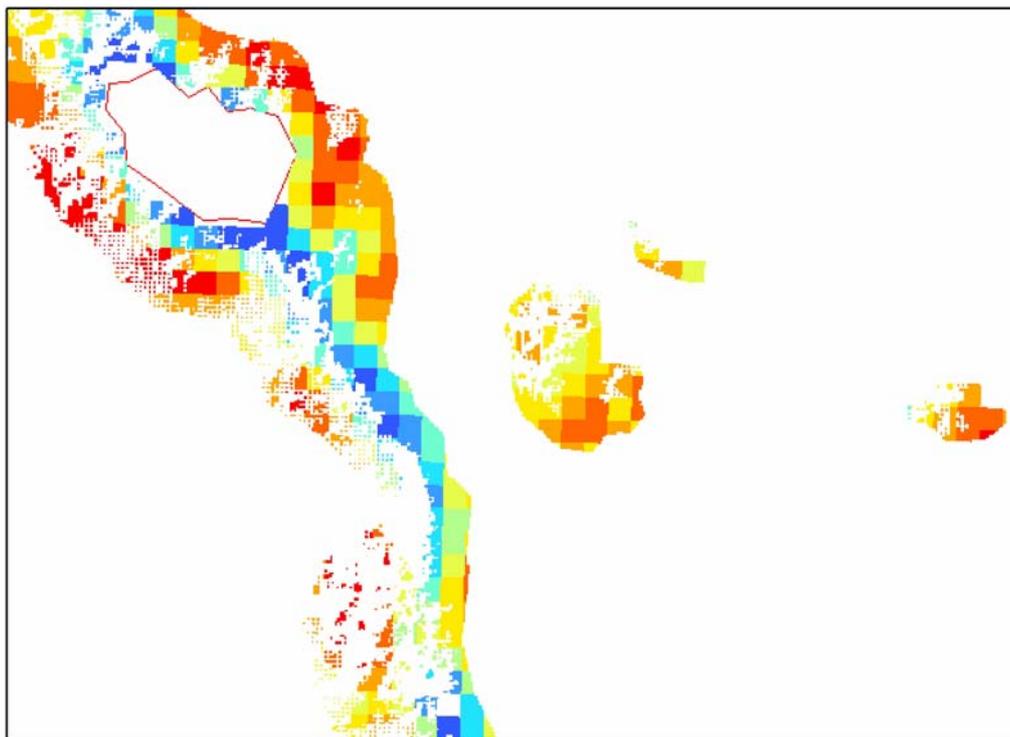


Figure 15. VCI après masquage par la couche roche et la couche ombre (calculée sur le MNT Lidar). La différence de résolution entre les données cause un rognage des pixels, assez peu cohérent avec la réalité.

Le graphique Figure 16 ci-dessous présente les résultats des étapes de masquage à l'échelle de la masse d'eau. La couche roche est celle qui a le plus d'influence en supprimant de nombreux pixels dans les faibles taux de couverture (VCI inférieurs à 30 %). Entre 30 et 70 %, les effets se réduisent et au dessus de 70 % de VCI, le masquage par la couche roche ne supprime quasiment aucun pixel.

La seconde étape de masquage par l'exposition à la houle, semble avoir un effet beaucoup moins spécifique et abaisse les effectifs de toutes les valeurs de VCI de manière équivalente entre 0 et 100 % de VCI.

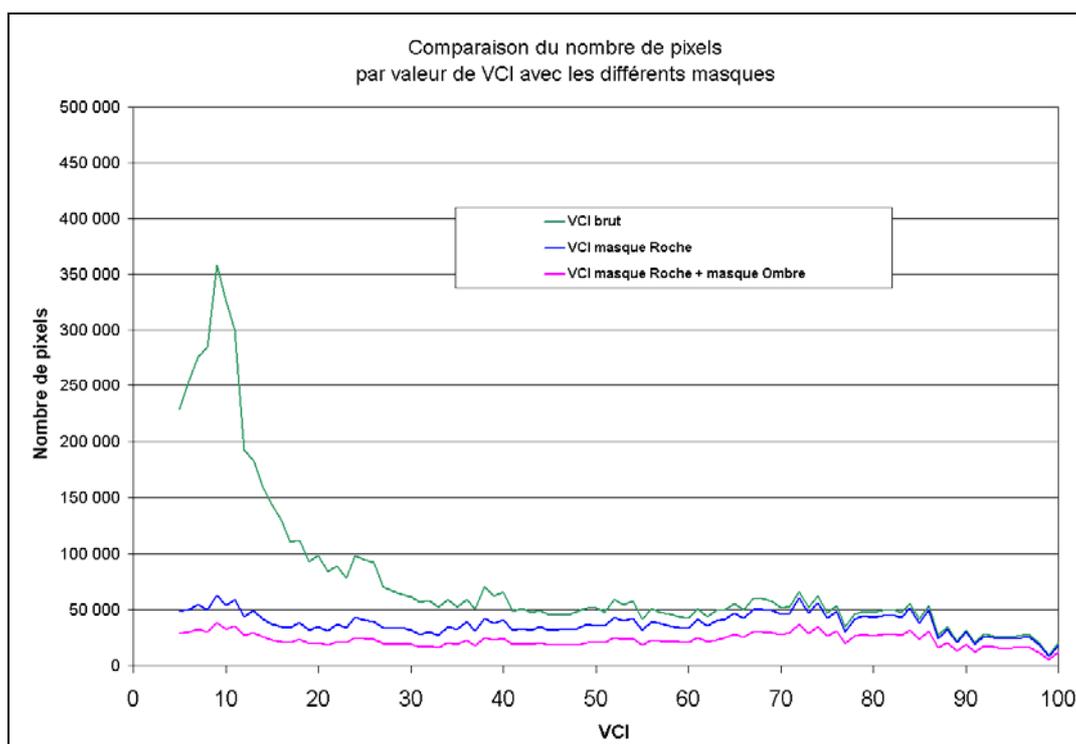


Figure 16. Conséquences de l'application des différents masques sur les différentes valeurs de VCI.

Si le masque roche semble avoir un intérêt, il n'en est pas de même pour le masque d'exposition retenu qui semble peu utile. On peut alors se demander si le choix de l'intensité d'ombrage seuil a une influence sur les valeurs de VCI masquées (valeurs 1 à 13 Figure 7 et Figure 8).

La Figure 17 ci-dessous illustre les résultats sur un petit secteur côtier et pour quatre valeurs seuil d'intensités d'ombre, le Tableau 5 synthétise ces résultats. Plus la valeur seuil est basse, et plus le masque d'ombre est important en surface.

Pour un masque d'intensité d'ombre fixé, le rapport entre le nombre de pixels retenus sur le nombre de pixels total reste sensiblement constant quelle que soit la valeur du VCI (colonne 3 Tableau 5, courbes globalement horizontales sur le graphique du bas Figure 17). Dans chaque masque, le taux de couverture moyen est le même, quelle que soit l'intensité d'ombrage retenue, autour de 49,4 % (colonne 4 Tableau 5).

| Valeurs du masque | Type de masque | Taux de pixels retenus dans chaque valeur de VCI (%) | Taux de couverture moyen (%) |
|-------------------|----------------------|--|------------------------------|
| 5 – 13 | Très peu sélectif | 80 | 49,21 |
| 9 – 13 | Peu sélectif | 60 | 49,50 |
| 12 – 13 | Moyennement sélectif | 51 | 49,33 |
| 13 | Fortement sélectif | 34 | 49,51 |

Tableau 5. Synthèse des VCI dans les différents masques d'ombrage.

Les masques d'ombrage, quelle que soit la valeur seuil d'intensité d'ombre retenue, ne permettent pas de masquer sélectivement certaines valeurs ou groupes de valeurs de VCI (fortes ou faibles) : les taux de couvertures relevés dans les zones abritées suivent la même loi de distribution que l'ensemble des VCI non masqués.

Dans le secteur étudié, le modèle d'abri / exposition développé ne nous permet pas de montrer une sensibilité des fucales à l'exposition à la houle dominante.

Plusieurs hypothèses pourraient expliquer ces résultats :

- Dans la zone étudiée, le seuil de sensibilité à la houle n'est jamais atteint : la zone est entièrement abritée. La pression de la houle ne s'exercerait que plus en amont, sur les premières roches, directement exposées à la houle du large. L'élaboration d'un masque prenant en compte ce paramètre semble difficile.
- La résolution des images Spot ne permet pas de localiser avec suffisamment de finesse et précision les ceintures de fucales. Le croisement avec le MNT Lidar, malgré la très bonne résolution de celui-ci, ne permet alors pas de récupérer avec suffisamment précision les taux de couverture en fucales, faussant ainsi les résultats.

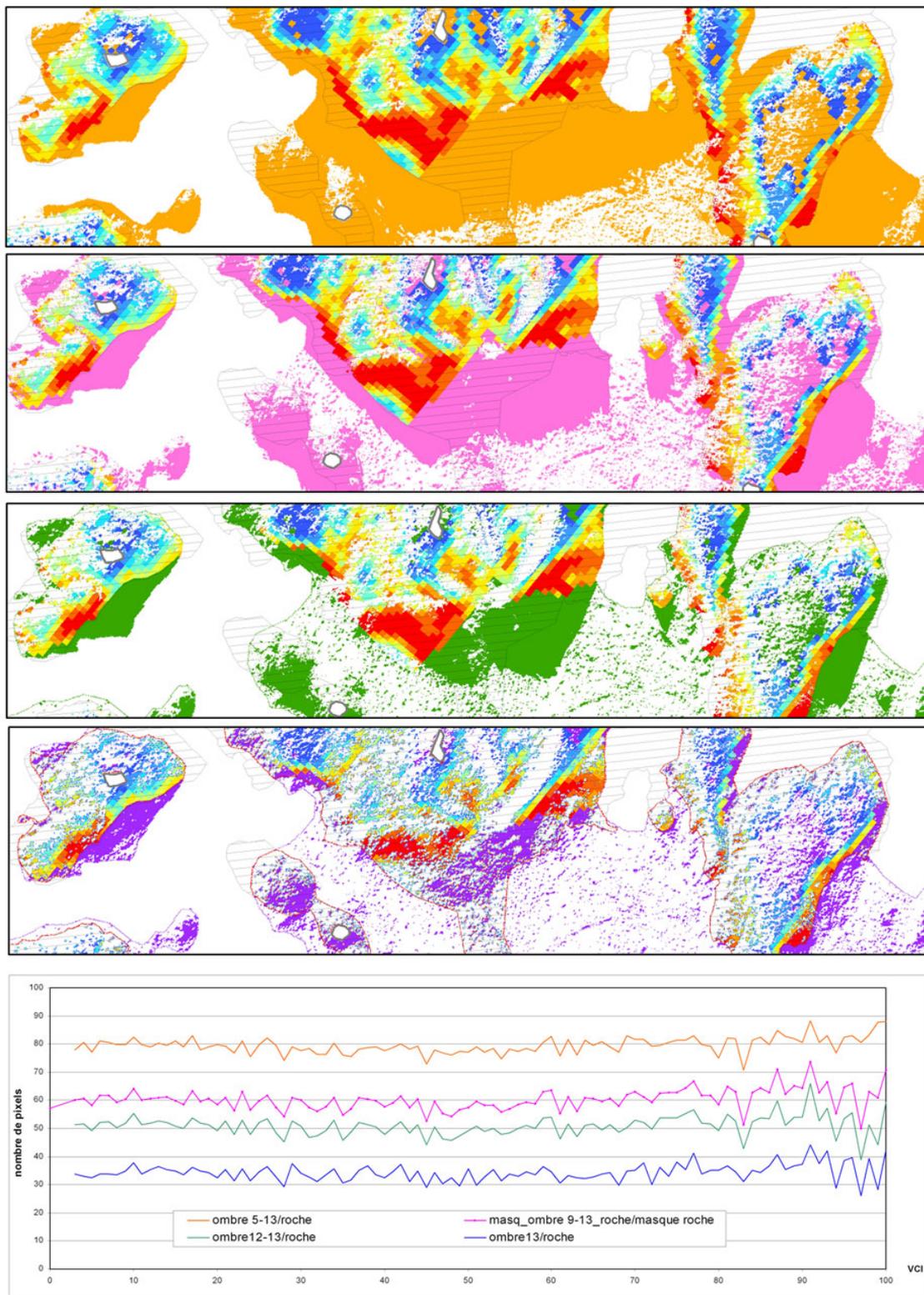


Figure 17. Evolution de l'effectif de chaque classe de VCI en fonction du masque d'ombre utilisé. De haut en bas, masques d'intensité d'ombrage croissants (du moins au plus abrité).

3.3.3 Conclusion

On constate que le traitement le plus pertinent sur ce secteur est apporté par la première étape : l'intersection du VCI avec la couche rocheuse.

La couche roche ayant été réalisée à une échelle relativement faible (1 / 25 000^e), la taille des polygones rocheux est en accord avec la taille des pixels Spot. Les taches de fucales ainsi créées par cette première étape de masquage sont constituées majoritairement d'une agrégation que plusieurs pixels entiers. Seuls les pixels périphériques, rognés, ont surfaces en équivalent 100 % faussées. Plus la taille des polygones rocheux est importante, moins l'erreur est forte (le rapport entre le nombre de pixels périphériques rognés et le nombre de pixels centraux entiers diminue lorsque la surface augmente).

A l'inverse, le MNT Lidar étant beaucoup plus fin (2 m de résolution spatiale). Le masquage par l'ombre conduit au effritement de nombreux pixels Spot, dont il ne reste plus au final que des fragments, et dont le VCI et la surface en équivalent 100 % n'ont plus grandes significations (le VCI étant le taux de couverture moyen à l'échelle du pixel d'origine, 10 m) et risquent de fausser les résultats.

D'autres images Spot traitées en VCI ont été intersectées avec la couche roche. En plus de l'image Spot du 18 avril 2003 sur le Finistère Nord, les traitements ont été réalisés sur les images du 12 août 2006 (Finistère Nord) et du 4 mai 2007 (Finistère Sud). Le Tableau 6 ci-dessous présente les résultats.

| Image Spot | Localisation | Taux de couverture moyen (%) | | |
|------------|----------------|------------------------------|--------------|---------------------------|
| | | VCI Brut | VCI x Roches | VCI x Roches x Exposition |
| 18 04 2003 | Finistère Nord | 33 | 45,1 | 45,8 |
| 12 08 2006 | Finistère Nord | 27,3 | 38,8 | - |
| 04 05 2007 | Finistère Sud | 13,6 | 26,8 | - |

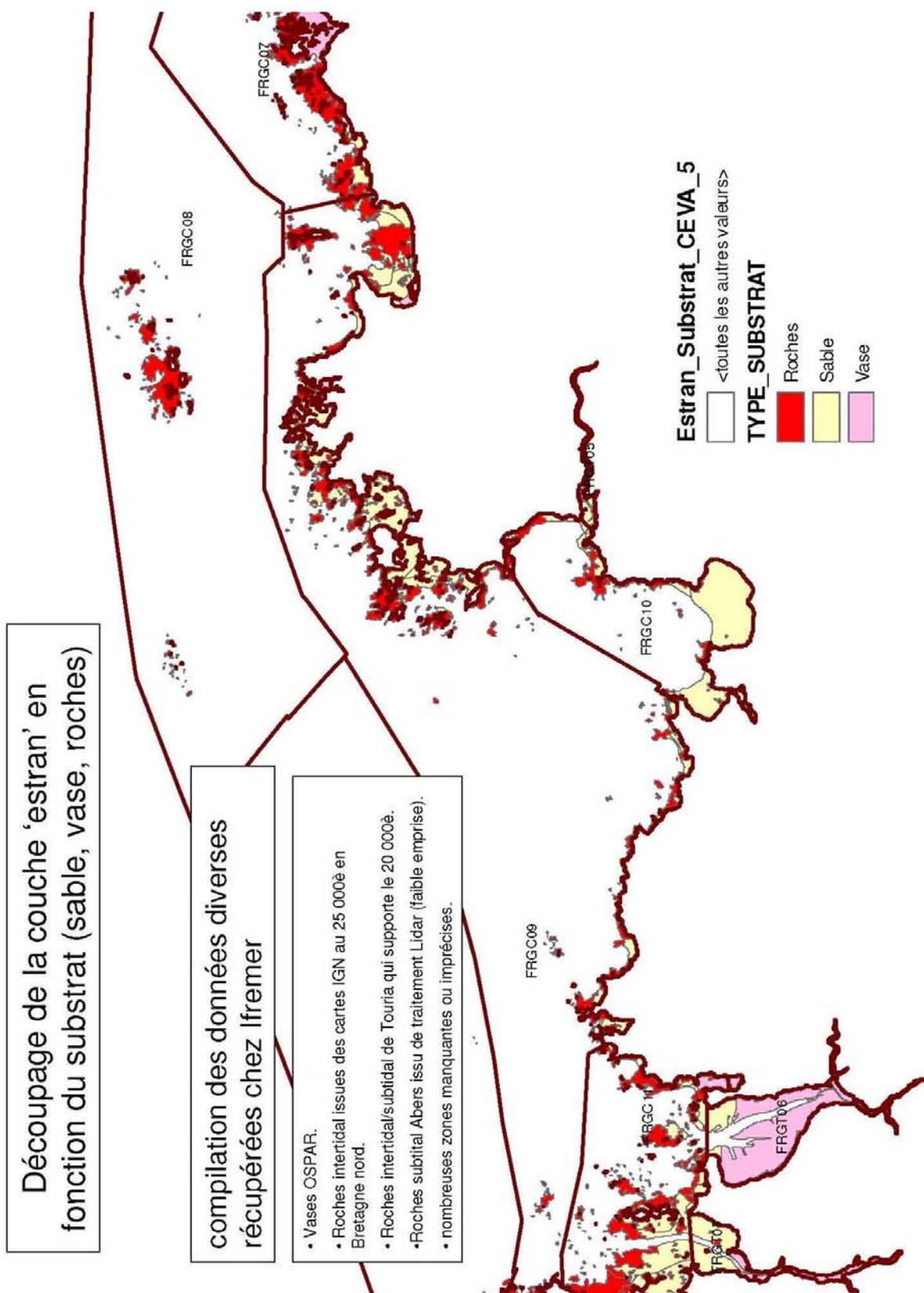
Tableau 6. Apport de la couche rocheuse dans le calcul du taux de couverture moyen en fucales.

Sur les trois images étudiées, l'intersection de la couche rocheuse avec le VCI permet une augmentation du taux de couverture moyen entre 10 et 15 %. En l'absence de modèle d'exposition à la houle valable, le masquage des VCI par la couche rocheuse semble être une première étape intéressante pour cibler les plus fortes valeurs de VCI, et ainsi produire un indicateur de l'état de santé des macroalgues pertinent.

ANNEXE 1

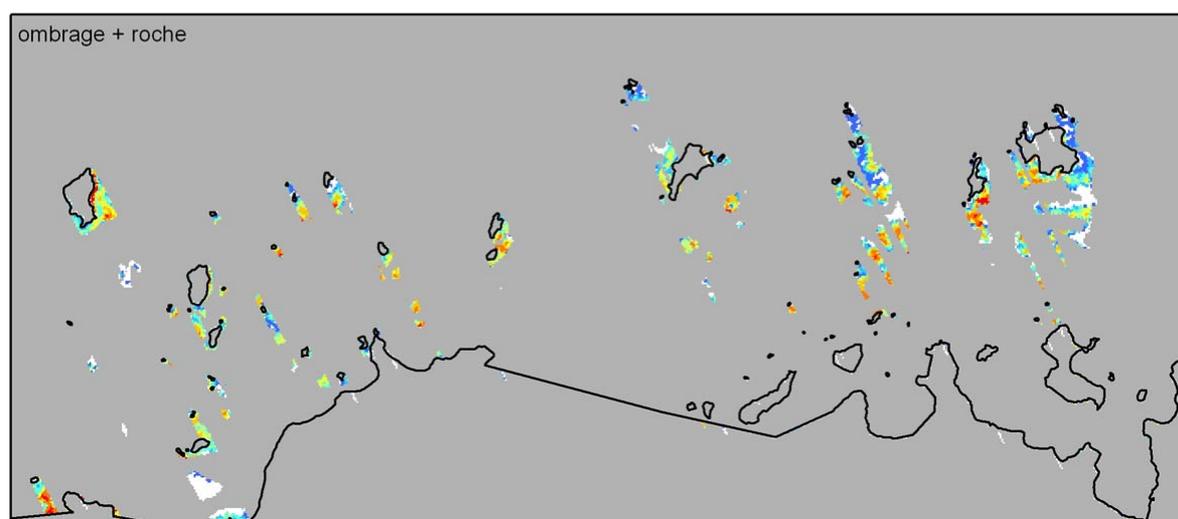
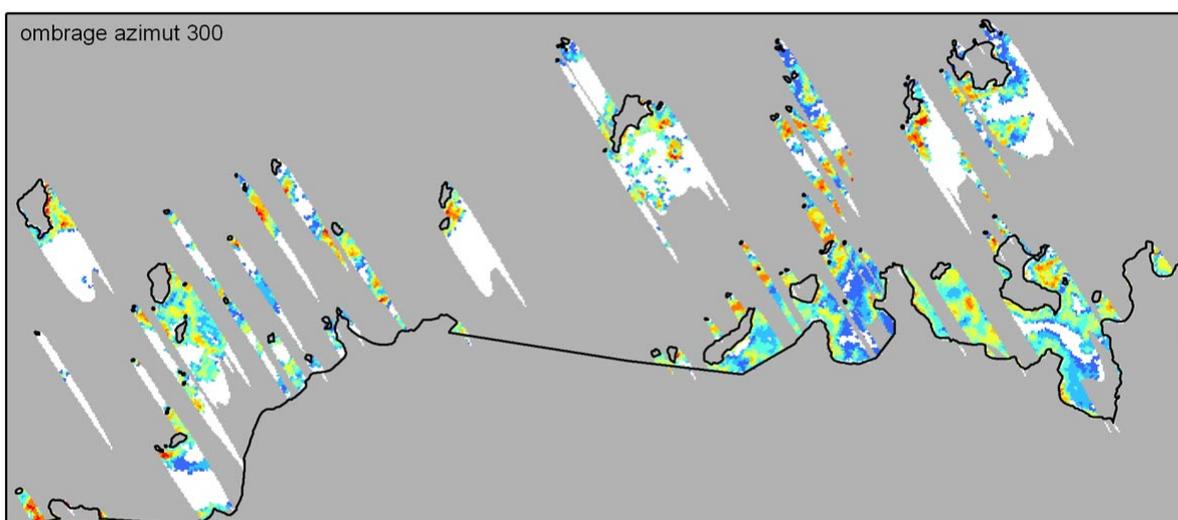
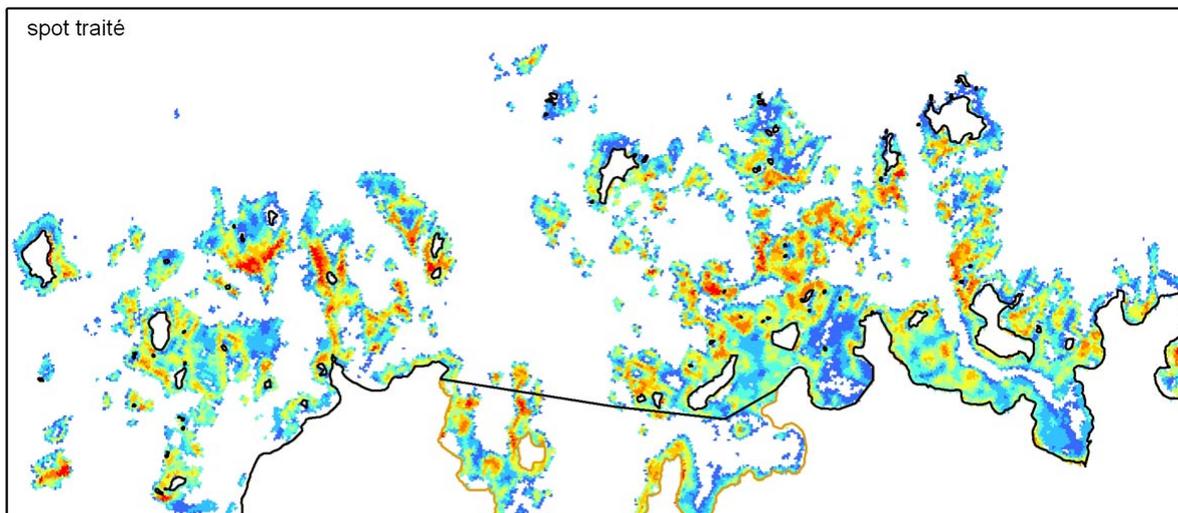
COUCHE ROCHEUSE UTILISÉE POUR MASQUER LES VCI

EXEMPLE SUR LE TRÉGOR



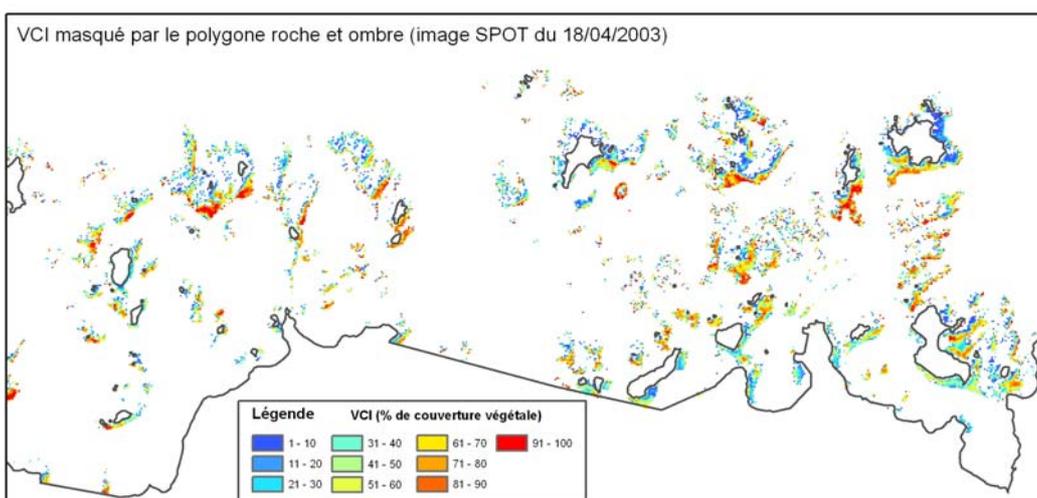
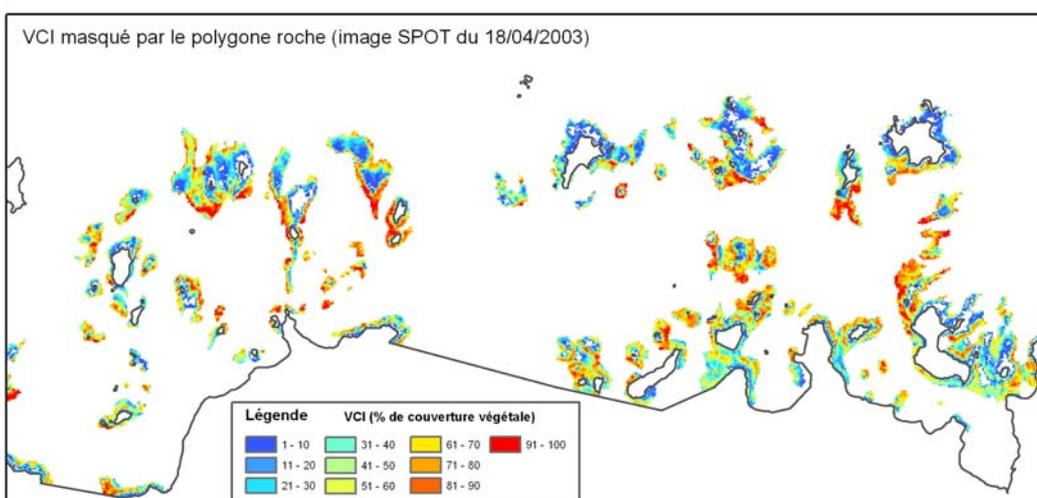
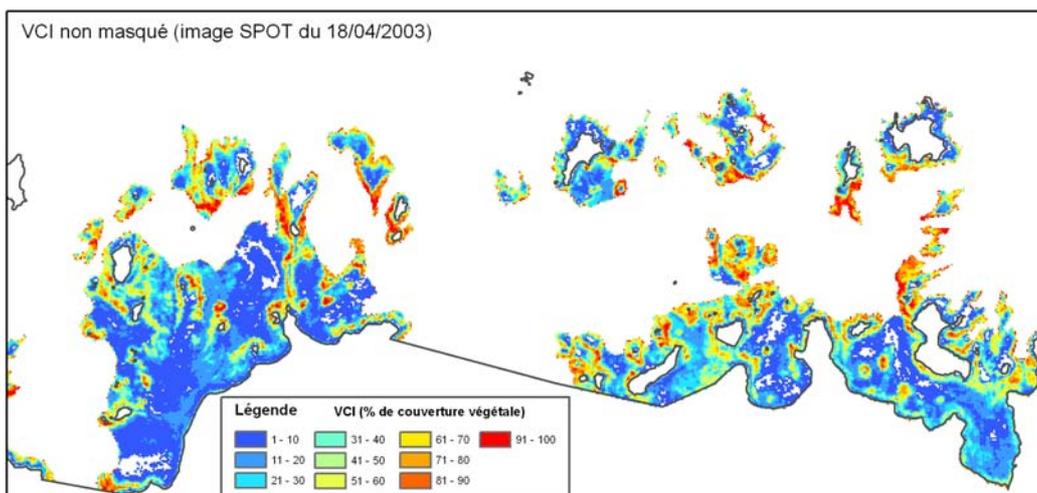
ANNEXE 2

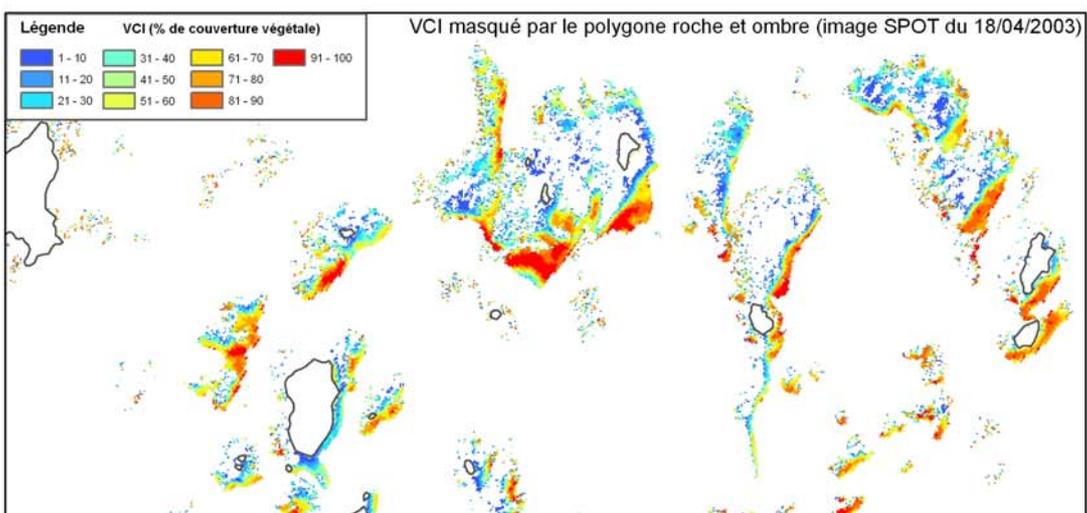
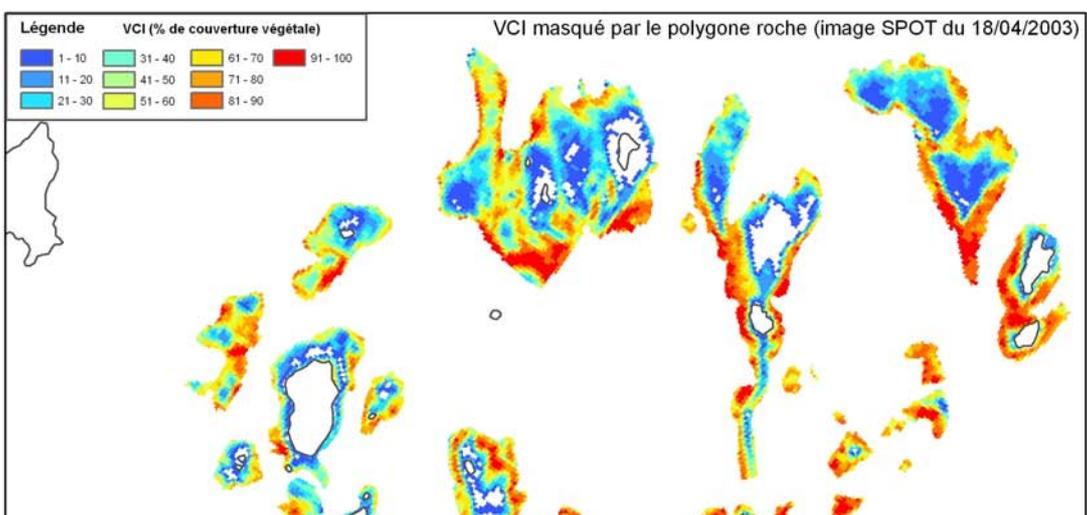
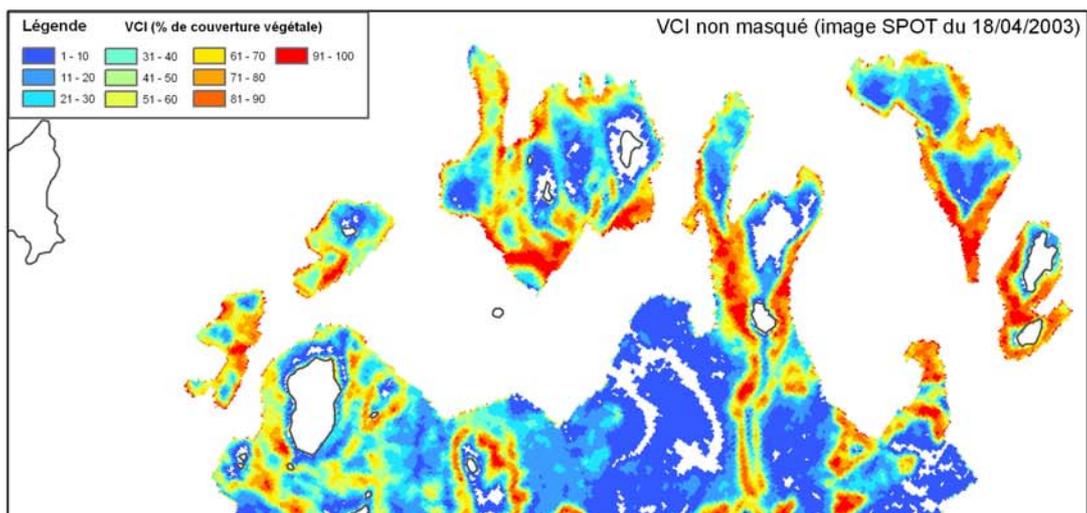
**EXEMPLES DE MASQUAGE DES FUCALES
DANS LES SECTEURS EXPOSÉS
D'APRÈS L'IMAGE SPOT DU 18 AVRIL 2003 TRAITÉE EN VCI
ET LE MASQUE D'OMBRE CALCULÉ SUR TRAIT DE CÔTE**



ANNEXE 3

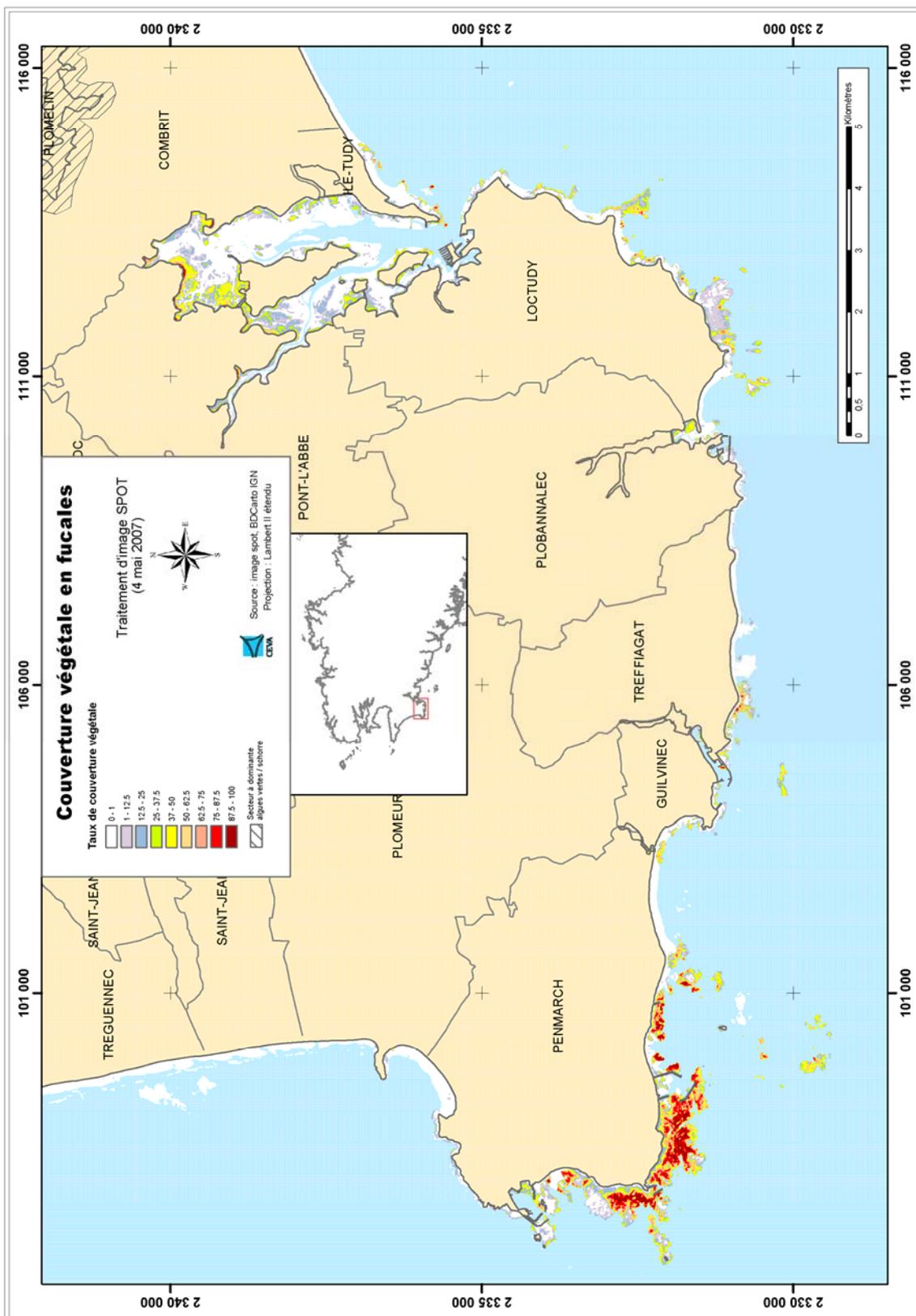
**EXEMPLES DE MASQUAGE DES FUCALES
DANS LES SECTEURS EXPOSÉS
D'APRÈS L'IMAGE SPOT DU 18 AVRIL 2003 TRAITÉE EN VCI
ET LE MASQUE D'OMBRE CALCULÉ SUR LE MNT LIDAR**

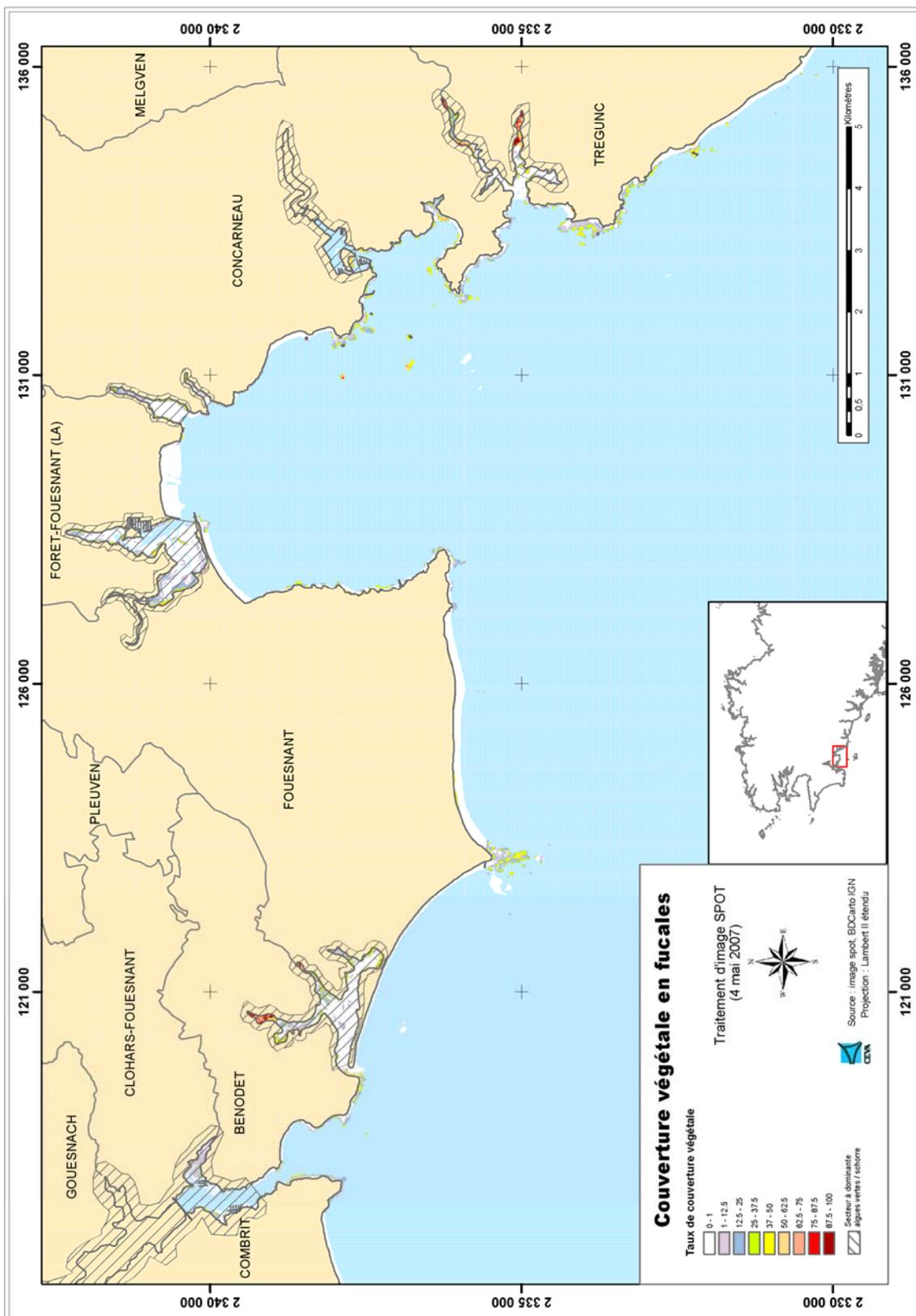


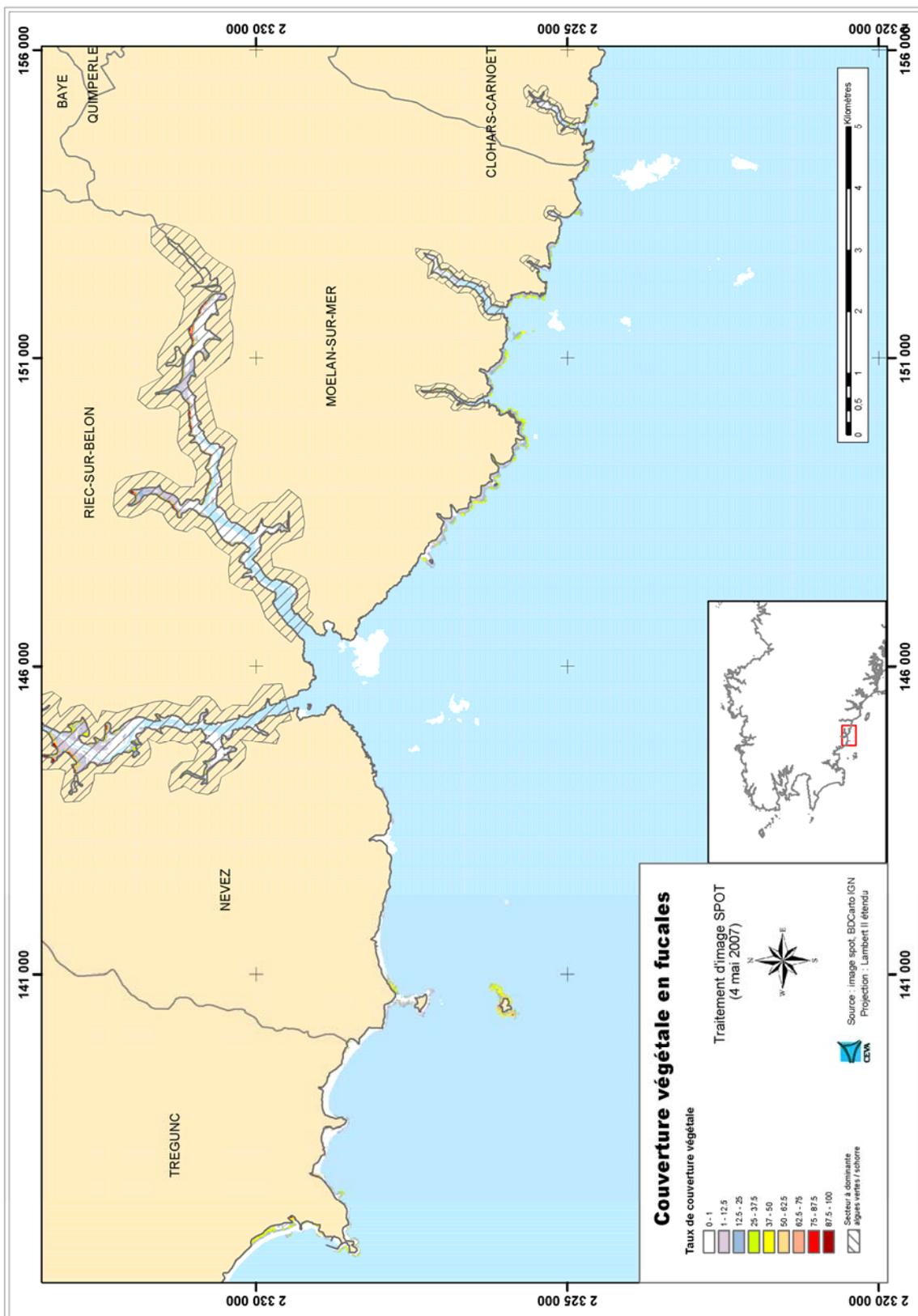


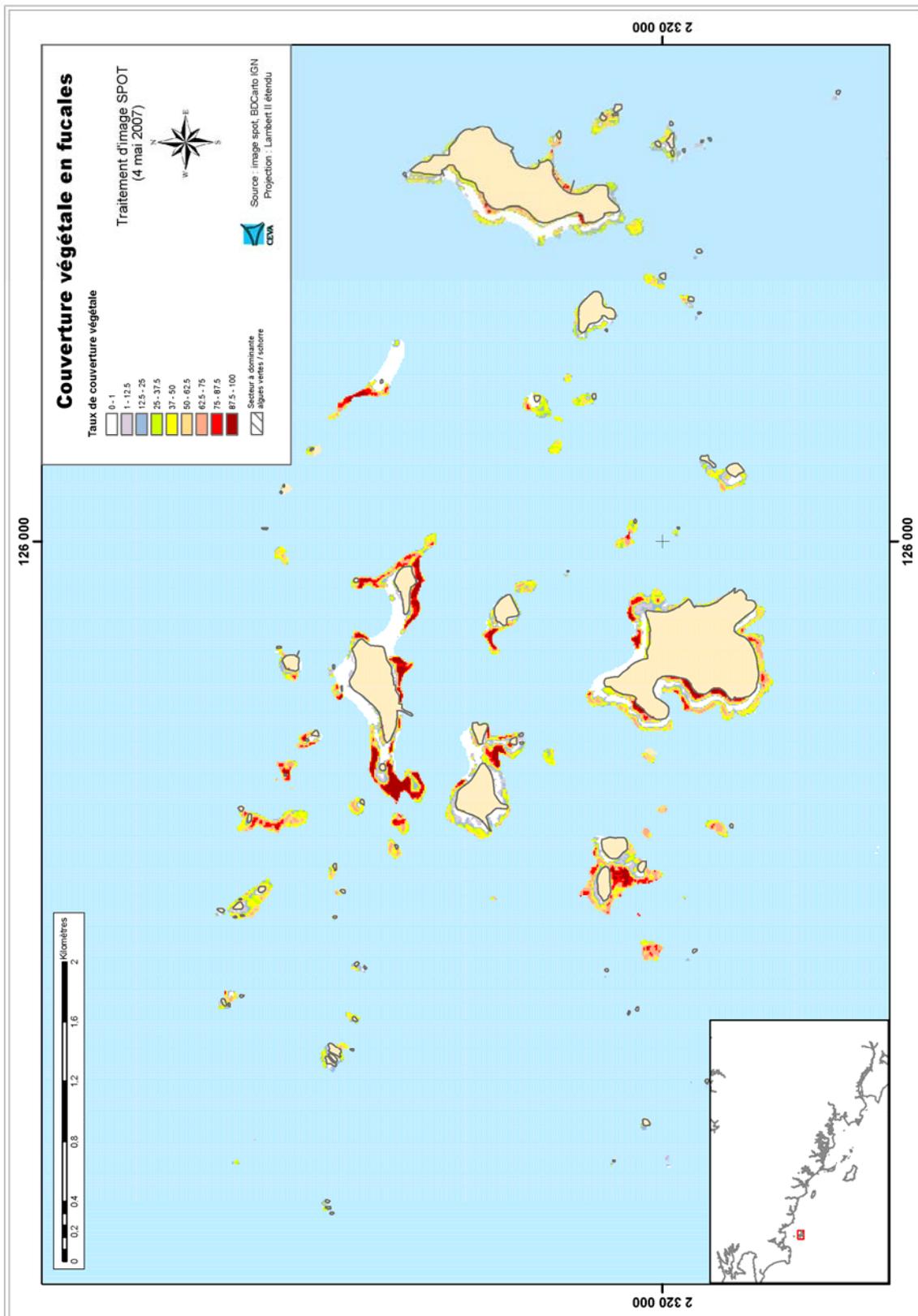
ANNEXE 4

CARTES DE COUVERTURE EN FUCALES SUR LA ZONE POINTE DE PENMARC'H – MOËLAN-SUR-MER, IMAGE SPOT DU 4 MAI 2007



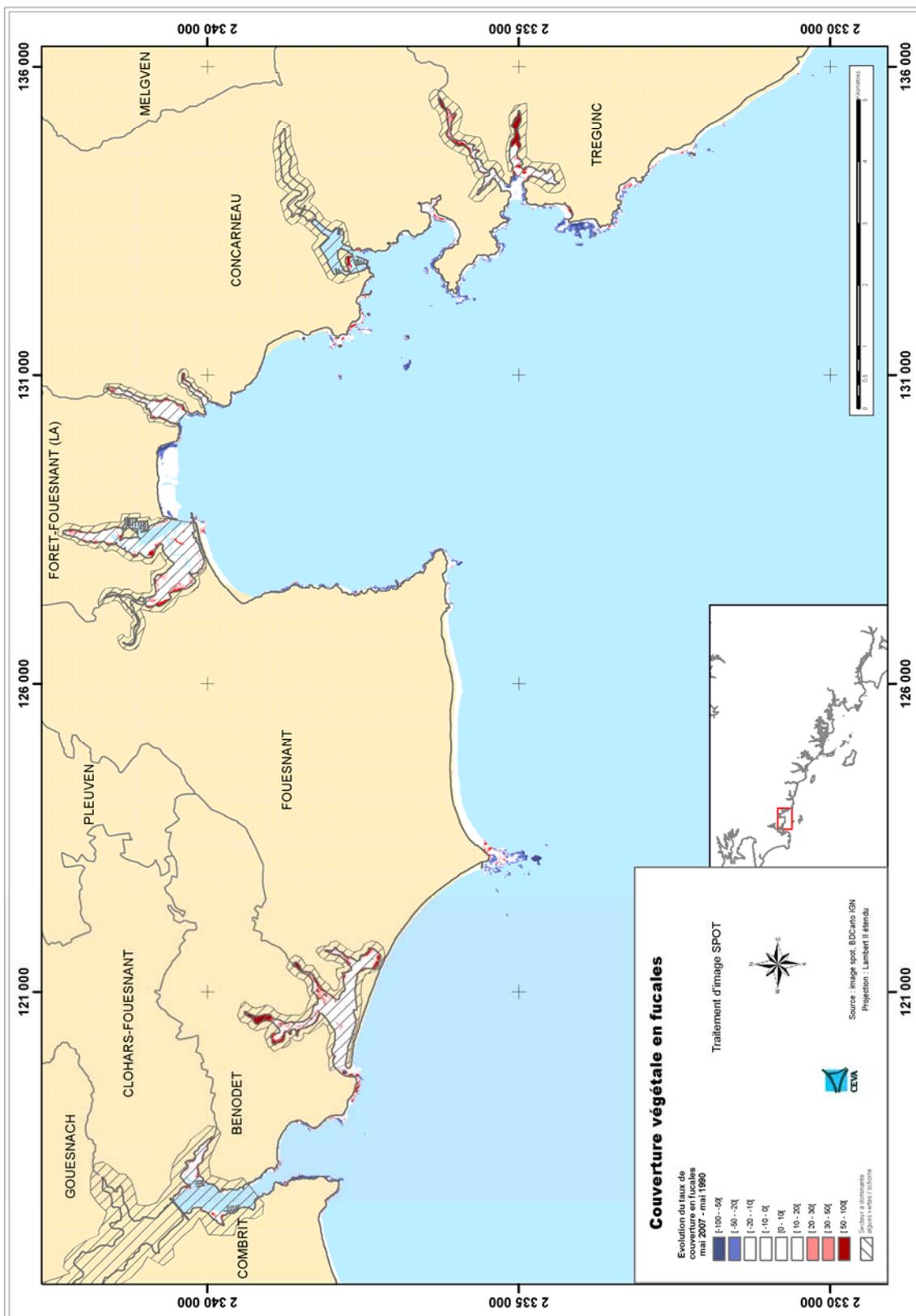


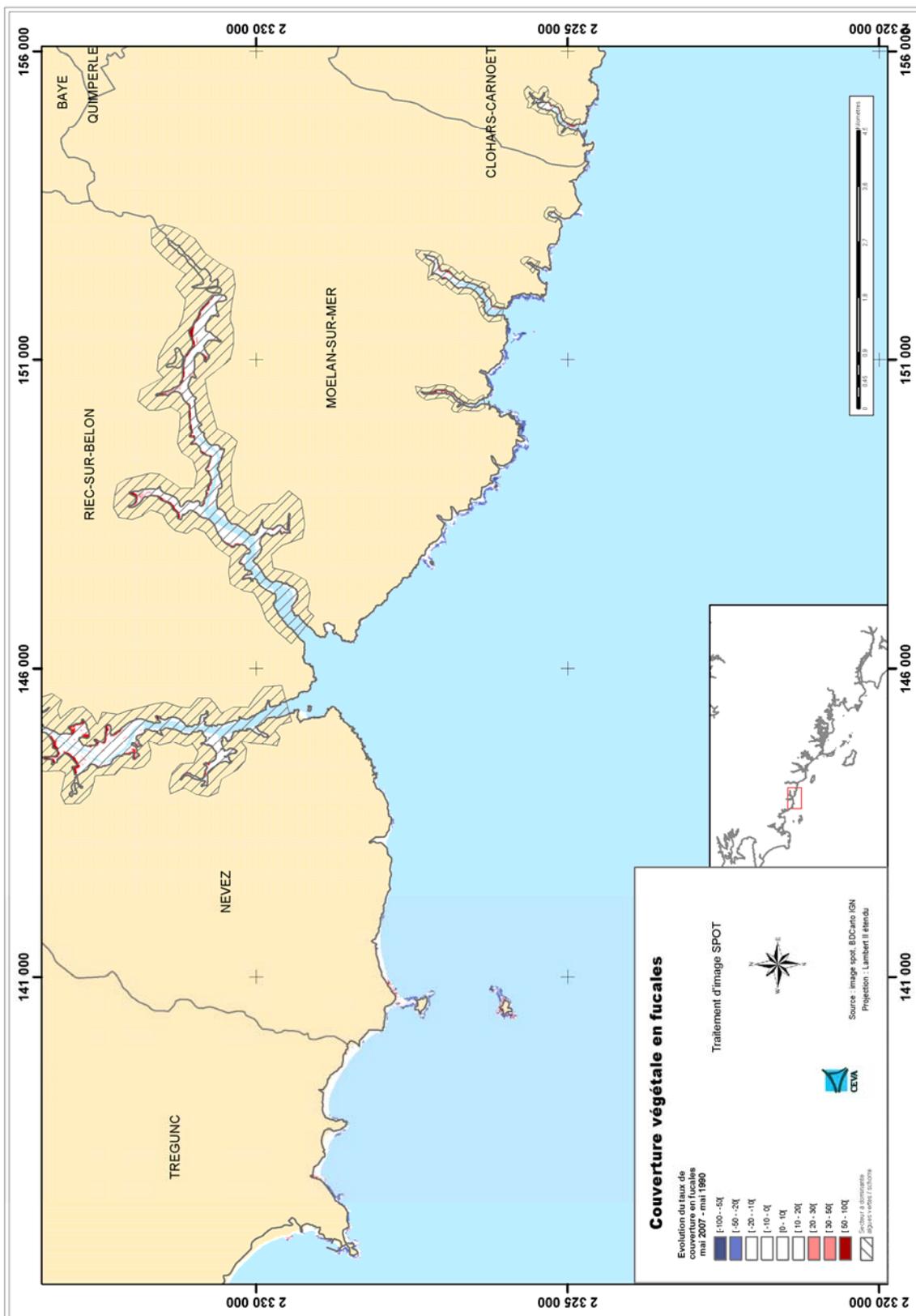


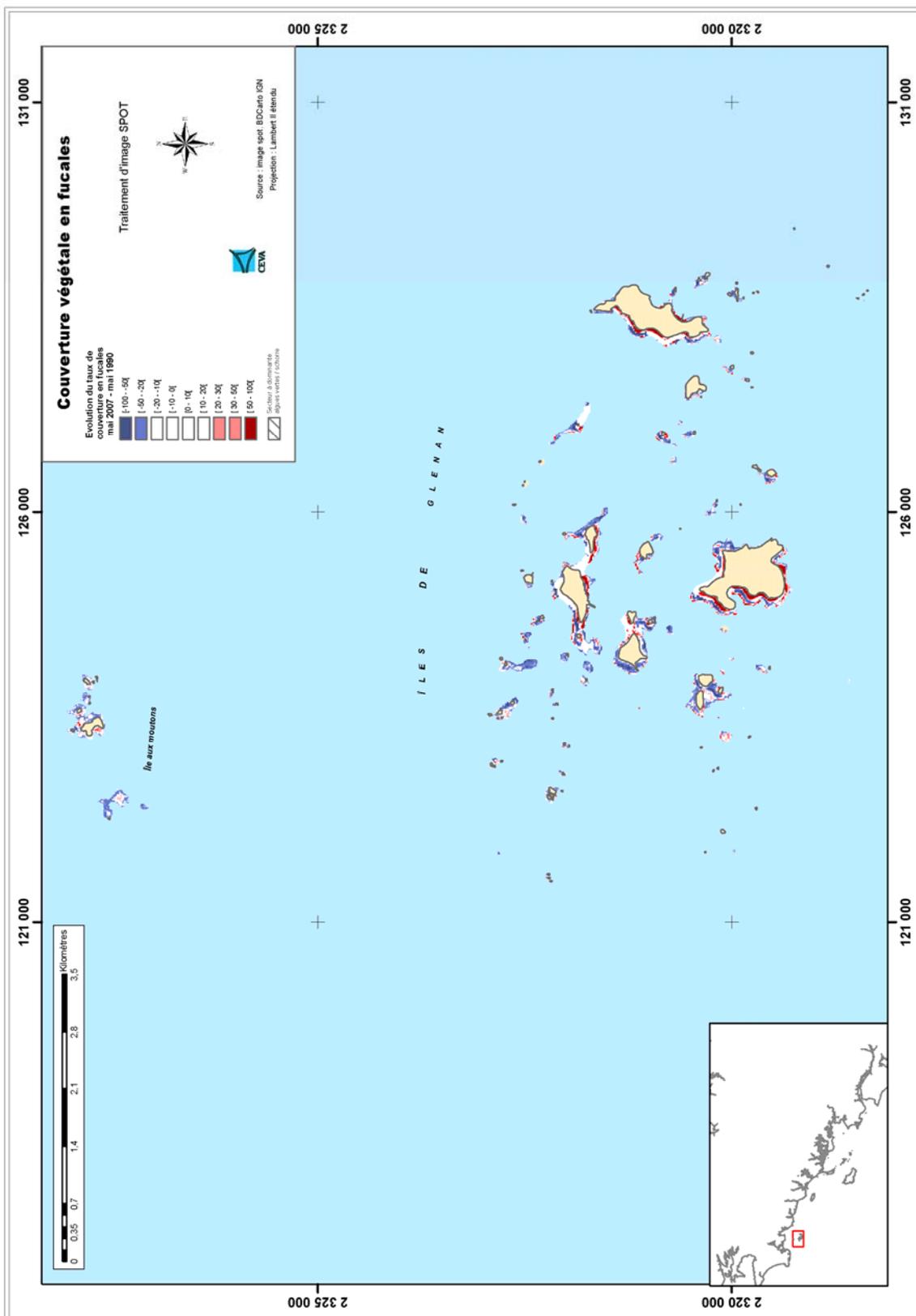


ANNEXE 5

DIFFÉRENTIEL D'ÉVOLUTION TEMPORELLE DE LA COUVERTURE EN FUCALES ENTRE LES IMAGES SPOT DU 4 MAI 2007 ET DU 27 MAI 1990

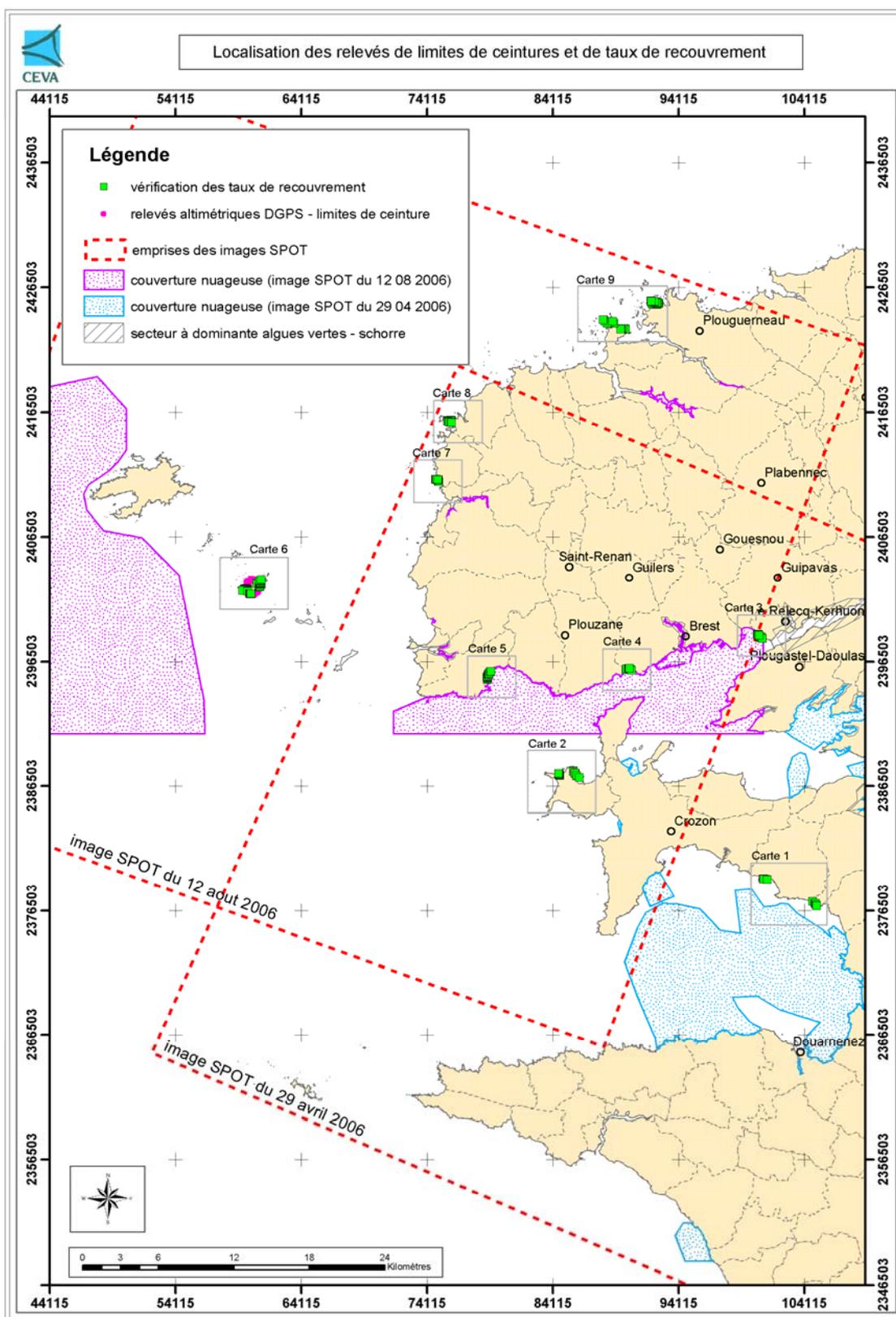


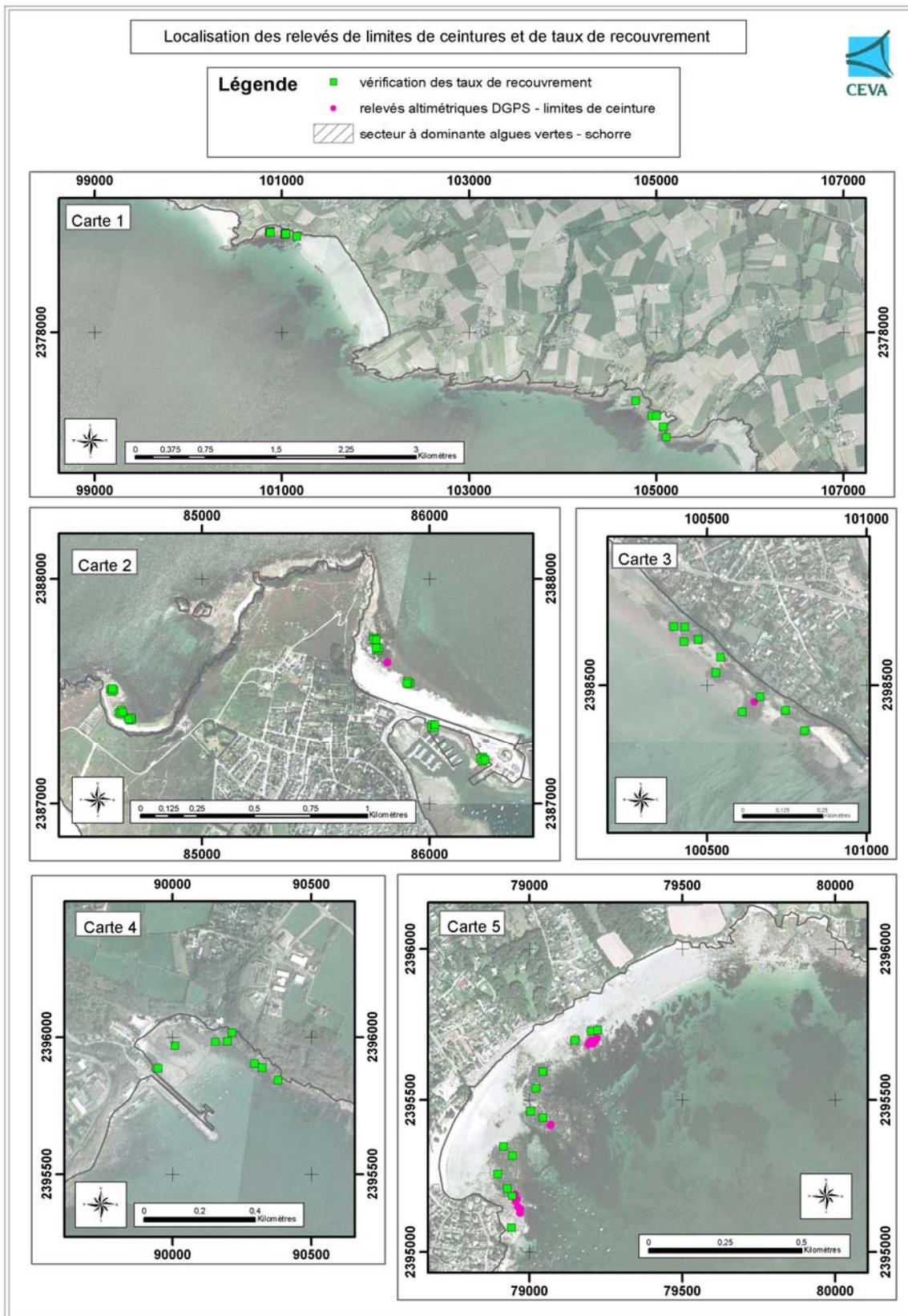


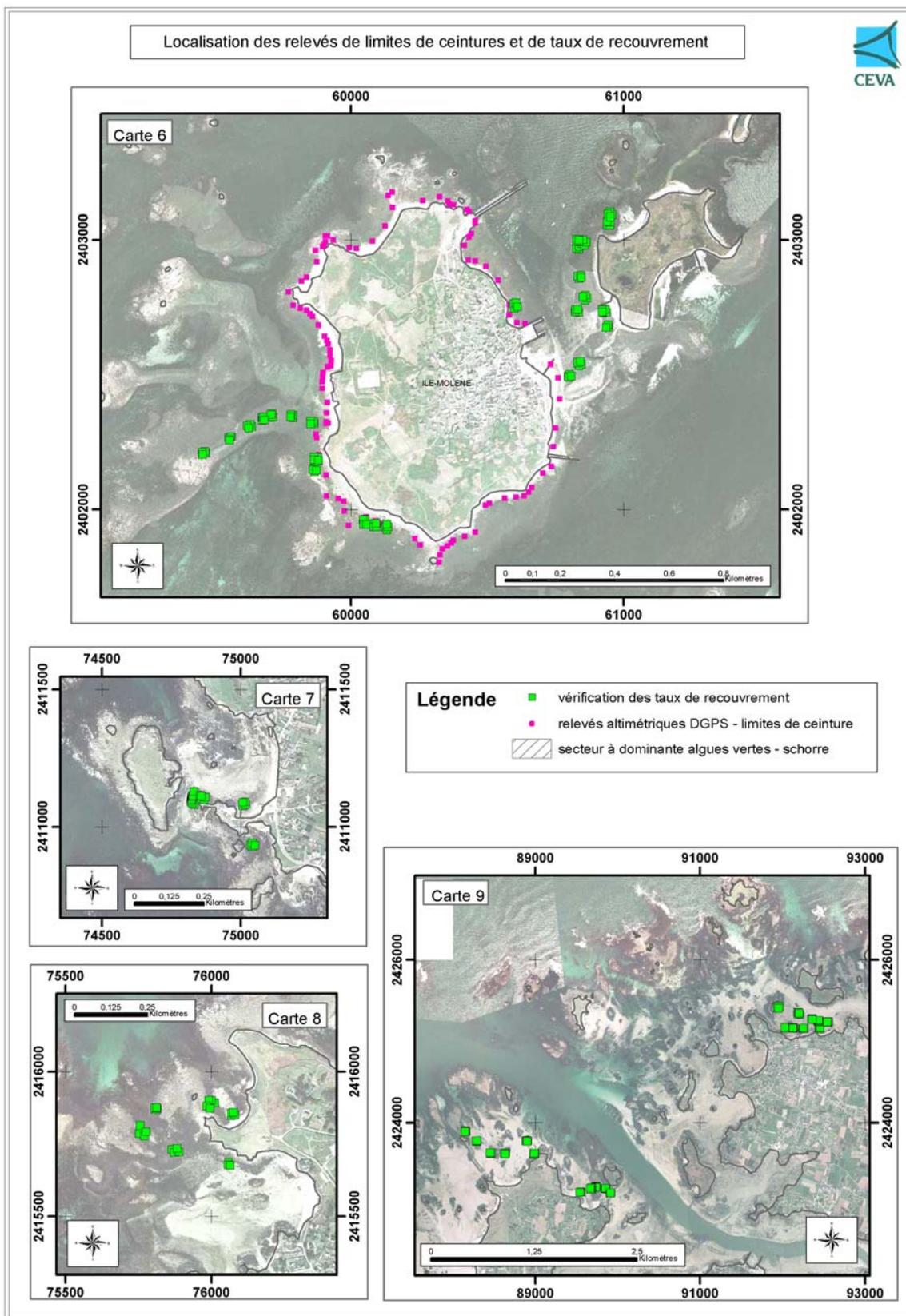


ANNEXE 6

CARTES DE SYNTHÈSE DES ACQUISITIONS TERRAIN SUR LE FINISTÈRE 2007 – 2008







ANNEXE 7

SYNTHÈSE DES RELEVÉS DGPS LIMITE HAUTE DE LA CEINTURE DE FUCALES

**ILE DE MOLÈNE
9 – 11 OCTOBRE 2007**

