Aide à la gestion multifonctionnelle des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographiée de leur état de conservation

Programme « Multidune »

Rapport de synthèse

Université de Nantes – LETG - UMR 6554 / Géolittomer
BP 81227, 44312 NANTES cedex 3
Tél. : 33 (0)2 40 14 13 08 - Fax : 33 (0)2 40 74 60 69
http:\\letg.univ-nantes.fr

DEBAINE Françoise, Maître de conférences responsable scientifique du projet
Tél. : 33 (0)2 40 14 13 81 - *Courriel : francoise.debaine@univ-nantes.fr*

Membres de l'équipe :

Françoise DEBAINE (Université de Nantes, UMR 6554 LETG / GEOLITTOMER),
Marc ROBIN (Université de Nantes, UMR 6554 LETG / GEOLITTOMER),
Françoise ROZE (Université de Rennes 1, UMR 6553 : ECOBIO)

Jean FAVENNEC et **Loïc GOUGUET** (Office National des Forêts)
Marie-Claire PRAT (EUCC France)

Sommaire

Problématique	4
A. Contexte et objectifs du projet	4
B. Multidune : des outils pour une évaluation cartographiée de l'état de conservation des dunes littorales atlantiques	6
I – EVALUATION CARTOGRAPHIEE DE L'ETAT DE CONSERVATION DES DUNES LITTORALES ATLANTIQUES AU REGARD DU SERVICE PROTECTION	9
1. Evaluation du Service Protection contre les aléas naturels	9
1.1. Service protection : principe général	10
1.2. Service protection : détail de la méthodologie. Exemple des caoudeyre	11
2. Développement de la méthode vers les Pays de Monts (Vendée)	12
II – EVALUATION CARTOGRAPHIEE DE L'ETAT DE CONSERVATION DES DUNES LITTORALES ATLANTIQUES AU REGARD DU SERVICE BIODIVERSITE	13
1. Cartographie et évaluation des habitats : une nécessité	13
2. Segmentation multiscalaire de l'espace dunaire pour un diagnostic	13
2.1. Biodiversité	14
2.2. Naturalité	15
3. Matériel, méthodes et résultats	16
3.1. Biodiversité	17
3.2. Naturalité	17
3.3. Intégration dans un SIG	18
3.4. Déroulé du protocole sur le massif dunaire de Noirmoutier (Vendée)	18
1) Variable « Naturalité » - évaluée à travers le degré d'artificialisation du massif dunaire	18
2) Variable « Biodiversité »	18
Biodiversité – Niveau I – Variable Habitats	19
Biodiversité – Niveau II – Variable Faciès	21
Conclusion générale et perspectives	24
Eléments de valorisation	25

Problématique

A. Contexte et objectifs du projet

L'objectif du programme « Multidune » est de proposer une méthode de diagnostic opérationnelle et fiable d'évaluation de l'état des dunes littorales, au regard des divers services attendus de ces milieux.

Le suivi et l'évaluation de l'état des milieux naturels sont actuellement au cœur des démarches visant à la gestion, la conservation et la protection des milieux naturels, qu'elles s'expriment au niveau local ou régional (*Contrat Etat-ONF 2012-2016, Manuel d'aménagement forestier, ONF, élaboration des plans de gestion*), national (*Projet d'évaluation des fonctions écologiques des milieux en France - convention entre le Muséum d'Histoire Naturelle et le MEEDDAT sur la valorisation des fonctions écologiques des habitats naturels en France*), international et européen (*Guide méthodologique des documents d'objectifs Natura 2000 (Valentin-Smith 1998)*). Le diagnostic est un préalable indispensable à la prise de décision.

a) Les dunes littorales : un espace d'interface entre terre et mer

Les dunes littorales présentent une grande hétérogénéité à l'échelle du littoral français mais les spécificités de cet écosystème tiennent à un caractère commun, la nature sableuse du substrat. Par ailleurs, quelles que soient les configurations locales, leur structure et leur fonctionnement sont déterminés par leur position, à l'interface entre mer et terre.

Le lien avec la mer se fait par les échanges sédimentaires mer/terre via les dynamiques morpho-sédimentaires qui garantissent ou non leur stabilité. Ces dynamiques sont en effet susceptibles d'éroder la face marine des dunes littorales provoquant un repli côtier ou au contraire de l'engraisser par des dépôts sédimentaires et d'élargir ainsi le champ dunaire vers la mer. Le lien se fait aussi par une dynamique éolienne particulière provoquant, ici une migration vers la terre de dunes mobiles, là, en l'absence d'une bonne gestion, une érosion par le biais d'une fragilisation de la végétation dunaire sous la trop forte pression touristique. Le lien avec la mer se lit également sur le plan écologique à travers les différents faciès et habitats dunaires disposées le plus souvent en bandes plus ou moins parallèles au trait de côte et dont les caractères sont étroitement dépendants de l'influence décroissante, de la mer vers la terre, de deux facteurs, le vent et la salinité.

Le lien avec la terre est associé aux services rendus à la société par les dunes littorales et par là à leurs usages. Les dunes littorales procurent en effet des bénéfices récréatifs, touristiques, esthétiques et plus généralement, culturels. Sur le plan économique, la complémentarité entre dunes et arrière pays (attractivité du massif dunaire, impact au niveau du prix du foncier périphérique, rôle de l'intervisibilité etc.) est forte. Réservoirs de biodiversité, elles sont placées sous un ensemble de réglementations de protection et l'objet de programmes de restauration/conservation. Enfin, elles protègent l'arrière pays contre les agressions marines.

L'évaluation de l'état des dunes littorales est donc motivée par la prise en compte de la fragilité intrinsèque de cet écosystème d'une part, et d'autre part, des fortes pressions tant naturelles (aléas météo-marins) qu'anthropiques (cf. les différents usages des dunes) qui le menacent dans son intégrité et son fonctionnement. Les services qu'il rend à la société constituent autant d'enjeux (protection, biodiversité, « culture ») dont la vulnérabilité tend à s'accroître fortement, accentuant, de ce point de vue, le risque de déficience du système : un service protection qui ne serait plus ou moins fortement assuré, la perte ou la diminution de la biodiversité, la banalisation des paysages et au final un attrait culturel également amoindri.

b) Gestion, protection, conservation et prise en compte des services rendus par l'écosystème dunaire

La gestion est adaptée à la nature des enjeux dont la hiérarchie évolue au cours du temps. L'intervention de l'homme sur les dunes littorales est ancienne, tant sur leur couvert végétal que sur leur modelé. Elle a longtemps eu pour objectif la protection du territoire de l'avancée des sables. On s'est ainsi efforcé un peu partout de fixer les dunes mobiles. Avec l'évolution des attentes sociales, la mise en évidence de leur haute valeur patrimoniale, une meilleure connaissance des processus de fonctionnement, la recherche de la fixation des dunes a laissé place pour l'ONF, gestionnaire d'une grande partie des dunes littorales atlantiques (350 km

dont 320 km de dunes domaniales, principalement entre la Loire et le sud des Landes) et partenaire du programme, à des principes et des pratiques de gestion « durable », à un « contrôle souple » visant seulement à modérer les processus sans les interrompre (Favennec, 2002, p. 205[1]). Cette gestion se veut aujourd'hui dans la mesure du possible, multifonctionnelle, ou plutôt multi-services, les objectifs à long terme de la gestion visant au maintien ou à la restauration des services écosystémiques assurés par les dunes littorales.

b.1. Service de **PROTECTION** (qui est en référence au *Millenium Ecosystem Assessment* (2005) un service de régulation) :

- Protection contre le risque de submersion (dunes à rôle dominant de digue)
- Modération de l'érosion marine (dans le cadre des échanges plage/dune)
- Protection des biens et des personnes contre le risque d'ensablement

A la suite de la tempête Xynthia en février 2010, une prise de conscience aiguë s'est faite jour sur le rôle que peuvent jouer certains cordons dunaires face aux aléas météomarins et plus particulièrement face aux submersions dans les zones à risque et de fait, sur la nécessité de leur surveillance. Le service protection a donc été replacé en position centrale dans la vision sociale du rôle joué par les milieux dunaires dans les zones à forts enjeux humains et non humains. Ce service protection se décline en matière de lutte contre les risques d'érosion et surtout de submersion : les programmes d'action de prévention des inondations (PAPI) et de Plan Submersions Rapides (PSR) en témoignent.

Les pratiques de gestion opérées, notamment par l'ONF, doivent ainsi être adaptées à cette fonctionnalité et permettre aux dunes, selon une conception de flexibilité, d'amortir souplement l'énergie marine ; d'apporter un soutien au budget sédimentaire (réalimentation de la plage après les tempêtes, ce qui contribue aussi à dissiper l'énergie des vagues et diminuer leur pouvoir d'érosion). Les pratiques de gestion doivent favoriser ainsi l'expression de cette fonction naturelle de protection vis-à-vis des arrières pays de basse altitude.

La prise de conscience accrue de l'intérêt de la conservation des massifs dunaires apparaît également à travers la *stratégie nationale pour la gestion du trait de côte* qui s'exprime notamment dans le guide national sur la gestion durable du trait de côte, outil de diffusion des connaissances et des stratégies de gestion des rivages soumis à l'érosion (MEEDDM, 2010)[2]. On retrouve certaines préconisations d'une bonne gestion dans le rapport d'A. Cousin[3] notamment dans sa rubrique «Recommandations stratégiques ». Toutefois, malgré des recommandations d'action pertinente (en particulier l'action A « Développer les outils de l'observation du trait de côte et de la compréhension de son évolution à l'échelle nationale et au sein des régions pour prioriser l'action publique », il manque une dimension outil opérationnel pour un diagnostic efficace.

b.2. Service **BIODIVERSITÉ**

- Biodiversité en termes d'habitats
- Biodiversité en termes d'espèces

Les services écoystémiques de la biodiversité touchent tous les domaines identifiés par le MEA (support, approvisionnement, régulation, service culturel et social). Actuellement protégées dans le cadre de la directive européenne « Habitats », les dunes littorales ont fait l'objet de nombreux inventaires (relevés phytosociologiques, ZNIEFF), qui révèlent leur intérêt majeur sur le plan écologique en termes de biodiversité tant au niveau des habitats que de celui des espèces puisque sur les quelques 400 taxons vasculaires exclusivement littoraux en France (environ 10% de la flore française totale) on peut considérer que quelques 150 espèces sont préférentiellement dunaires et quelques 60 le sont exclusivement. Sur ce nombre, plus d'une vingtaine sont rares, menacées ou en forte régression qu'il s'agisse de plantes endémiques ou non (*J.-M. Géhu, 1997*).

Les dunes constituent donc, un réservoir potentiel de biodiversité mais un réservoir menacé que les diverses réglementations, en particulier la Directive Habitats, cherchent à préserver.

Elles sont ainsi répertoriées dans le manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (version EUR 15, 1999, actuellement version EUR 27, 2008) : (2110) Dunes mobiles embryonnaires, (2120) Dunes mobiles du

[1] FAVENNEC J., 2002. Contrôle souple et réhabilitation des dunes littorales non boisées de la côte atlantique. *Connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique*. Les dossiers forestiers ONF n° 11, Octobre 2002, 205-223.

2 MEEDDM , 2010, La gestion du trait de côte, Éditions Quae, Collection Savoir faire

3 Cousin A., 2011, RAPPORT présenté par Monsieur Alain COUSIN, Député de la Manche : Propositions pour une stratégie nationale de gestion du trait de côte, du recul stratégique et de la défense contre la mer, partagée entre l'État et les collectivités territoriales

cordon littoral à *Ammophila arenaria* (dunes blanches), (2130) Dunes côtières fixées à végétation herbacée (dunes grises) reconnues comme Habitat prioritaire, (2190) Dépressions humides intradunales, (2170) Dunes *à Salix repens* ssp. a*rgentea*.

Hier mobilisés autour des seuls aspects géomorphologiques de l'écosystème en réponse à des objectifs de fixation et de renforcement de son efficacité sur le plan de la protection, les gestionnaires intègrent aujourd'hui les préconisations issues des engagements de la convention *sur la diversité biologique*, qui se sont concrétisés en France à travers la *stratégie nationale pour la biodiversité* (2004) par laquelle la biodiversité devient un volet à part entière de *la stratégie nationale de développement durable*.

Connaissance, observation, suivi des caractères biologiques d'un site sont ainsi à la base de l'établissement des plans de gestion et autres DOCOB. L'objectif est la protection, le maintien de la biodiversité potentielle du site, sa valorisation, la limitation des pressions anthropiques qui le menacent. Il s'agit de maintenir des conditions favorables à la diversité, de les favoriser, voire de mettre en place un ensemble de mesures visant à la restauration d'un état favorable. La biodiversité est ainsi un enjeu majeur de la gestion des dunes littorales.

De nombreuses références existent concernant la composition, la structure ou le fonctionnement de cet écosystème ; les données foisonnent sous forme d'observations ou de relevés successifs mais dans ce domaine également les outils permettant d'établir un diagnostic spatialisé, précis et fiable préalable à l'action font défaut.

B. Multidune : des outils pour une évaluation cartographiée de l'état de conservation des dunes littorales atlantiques

La prise en compte des services rendus par les dunes littorales sous-tend l'ensemble de la méthodologie proposée, les objectifs à long terme de la gestion tels que définis avec les gestionnaires partenaires (ONF) visant au maintien ou à la restauration des services protection ou biodiversité. Le service culturel n'est pas explicitement pris en compte mais les analyses produites peuvent conduire à une réflexion sur les interactions entre ce service et les autres.

Chaque service fait l'objet d'une méthodologie propre intégrant des données sources et des indicateurs pertinents et spécifiques pour l'évaluation de l'état de la dune par rapport aux objectifs de Protection d'une part et de Biodiversité d'autre part. Mais au final, les services étant inter reliés, ils interagissent (à chaque état de la dune par exemple correspond un type de végétation qui contribue à maintenir sa stabilité. Tout changement dans la végétation est le reflet de la modification de l'état géomorphologique de la dune et vice versa), et un choix en matière de gestion qui affecte l'un des services a un impact sur la qualité des autres services identifiés. Ainsi, la prise de décision et les proposions d'actions qui peuvent découler du diagnostic supposent qu'ait été établie en amont une hiérarchie des enjeux par un système de pondération et que l'on ait fixé le degré de priorité des objectifs. Cette pondération doit reposer sur une analyse des enjeux propres à chaque site.

Multidune se veut un outil d'analyse qui porte à connaissance à travers la combinaison d'un certain nombre d'indicateurs les différentes modalités de l'état d'un écosystème au regard des objectif fixés en matière de Biodiversité et de protection. Multidune ne choisit pas, c'est un outil d'analyse multicritères qui apporte des éléments d'aide à la décision.

Par la prise en compte d'un grand nombre de critères, il échappe aux implications d'une analyse sectorielle et donc partielle et aide à définir les enjeux propres à chaque site.

i. La question des données

L'accès aux données adéquates, nécessaires et suffisantes pour mener à bien l'évaluation sur l'ensemble du territoire concerné est une question centrale sur laquelle buttent nombre de procédures d'évaluation. Pas d'évaluation sans données. L'hétérogénéité des données (nature, source, date, saison, niveau de détail) limitent souvent la portée de la démarche de diagnostic, sa validité, sa reproductibilité.

Nous avons mis en évidence la nécessité de disposer, selon une périodicité définie, de données homogènes et spatialement continues, sur l'ensemble des objets soumis à l'évaluation, de prendre en compte les différents niveaux scalaires qui rendent compte des caractéristiques et de la dynamique des milieux étudiés et enfin de

pouvoir mener à bien l'évaluation en un minimum de temps. Les données obtenues par télédétection aérienne et spatiale répondent à ces contraintes.

Multidune apporte des informations précises et spatialisées à différents niveaux d'échelle et d'intégration, s'appuyant sur des sources d'information classiques et couramment utilisées par les gestionnaires (orthophotographies, terrain) et sur des sources nouvelles (données lidar, télédétection hyperspectrale) dont il met clairement en évidence les apports.

ii. La question du suivi

A la question du diagnostic est associée celle du suivi dont une des bases est la comparaison d'états successifs. L'intérêt est d'exercer une surveillance régulière selon un intervalle de temps adéquat par rapport au type d'écosystème observé, c'est-à-dire qui permette de distinguer les réelles tendances dynamiques.
Le suivi implique de disposer de données-sources de même nature, donc comparables aux différents temps observés et homogènes sur l'ensemble de l'écosystème/habitat observé. Si l'obtention de ces données s'avère très lourde en temps de collecte ou trop coûteuse, la procédure d'évaluation risque d'être ralentie –son intérêt pour les gestionnaires devient alors limité-, ou de se contenter d'un nombre faible d'observations ou « pire » du recours systématique « aux dires de l'expert », méthode certes rapide mais très subjective et hétérogène – la fiabilité de la démarche surtout lorsqu'elle s'applique à l'ensemble des écosystèmes/habitats d'un même type et non plus seulement à un site particulier, peut dans ce cas être mise en doute. Cette question est donc abordée pour chaque approche relevant de l'analyse de services des massifs dunaires. En matière de couverture végétale par exemple des levés espacés de 3 à 5 ans sont considérés comme suffisant pour un suivi robuste de vastes zones.

iii. Limites spatiales de l'analyse et intégration spatiale des informations

L'objet soumis au diagnostic est l'écosystème dunaire délimité sur le plan géologique en tant que « formation sableuse ». Cette délimitation est celle de la carte géologique du BRGM (Carte vecteur harmonisée (Référentiel géologique *BD-Charm-50*) dont nous affinons les contours par superposition à la BD ORTHO de l'IGN (Fig. 1 exemple du massif dunaire de l'île de Noirmoutier)).

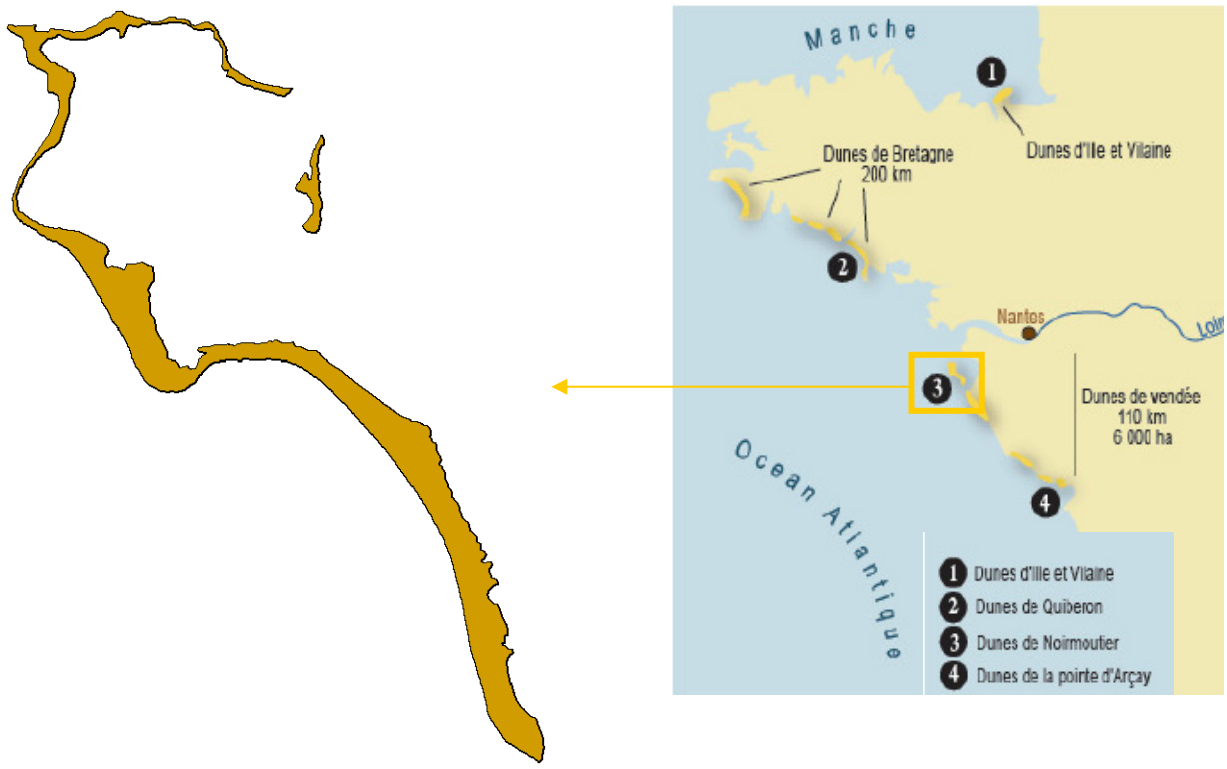


Figure 1 : Le massif dunaire de l'Île de Noirmoutier (85) d'après le référentiel géologique BRGM

L'hétérogénéité de nature des massifs dunaires, tout comme la très grande diversité des pressions auxquelles ils sont soumis, imposent une évaluation spatialisée selon une grille adaptée dont les mailles doivent couvrir de façon exhaustive et régulière l'objet analysé. L'objet Dune est donc décomposé en unités d'observations que nous avons appelées « boites » au sein desquelles les mesures relatives aux indicateurs sélectionnés et issues du traitement des données brutes sont intégrées. Les boites sont des unités de 50 m de large sur 500 m (maximum) de profondeur mer-terre à partir du trait de côte (Fig. 2).

Le découpage par boites rend possible la comparaison des états de différents tronçons à l'intérieur d'un massif dunaire et autorise des comparaisons objectives d'un massif à un autre du littoral atlantique. Multidune est donc en cela **un système opérationnel de description et d'analyse multiscalaire** :

- l'échelle locale de l'indicateur (niveau intra-boite),
- l'échelle du massif qui est celle de l'évaluation par intégration dans les boites des valeurs associées aux différents indicateurs et de l'analyse multicritère,
- l'échelle régionale de la comparaison entre différents massifs.

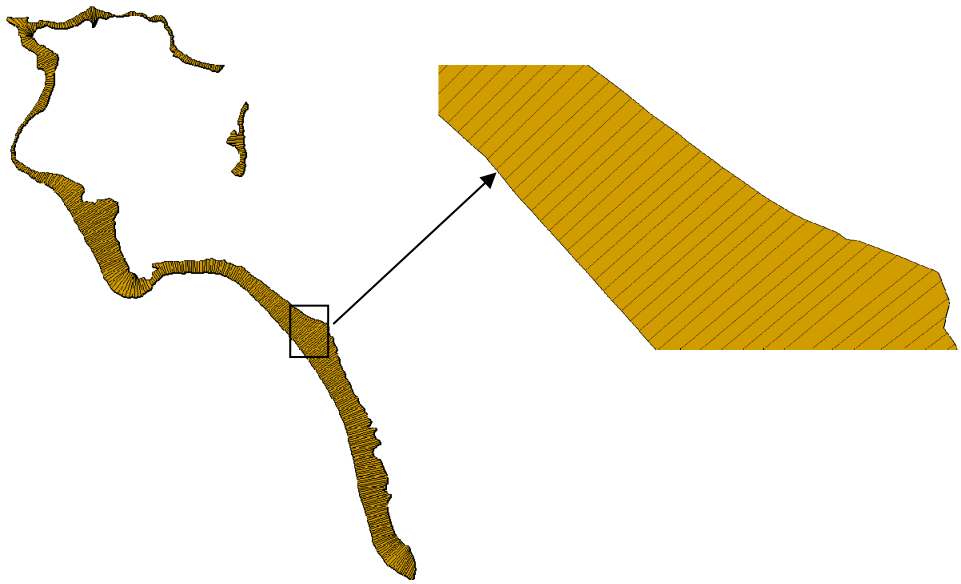


Figure 2 : Boites ou unités d'observation (50*500m maximum) : intégration et spatialisation de l'information

I – EVALUATION CARTOGRAPHIEE DE L'ETAT DE CONSERVATION DES DUNES LITTORALES ATLANTIQUES AU REGARD DU SERVICE PROTECTION

Le protocole détaillé pour une évaluation de l'état des dunes littorales au regard du service protection a fait l'objet d'une publication dans la revue Ocean and Coastal Management[4]. Nous ne présentons donc ici qu'un résumé de la méthodolologie.

1. Evaluation du Service Protection contre les aléas naturels

L'évaluation du **service Protection** est fondée sur l'analyse de variables discriminantes dérivées des données Lidar, aériennes et satellitales. La combinaison de ces variables au sein des unités d'observation spatialisées (boites) permet la mise en évidence des niveaux de service offerts par l'écosystème dunaire face à :

- l'érosion marine,
- la submersion potentielle lors des surcotes

[4] Debaine F., Robin M., 2012. A new GIS modelling of coastal dune protection services against physical coastal hazards. *Ocean and Coastal Management* 63 (2012), 43-54
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0964569112000683

- et l'éolisation des massifs.

Le protocole a été appliqué sur le site de Noirmoutier et un soin particulier a été pris pour permettre la reproductibilité de la méthode d'une part et d'autre part le replacement de chaque niveau de service dans un référentiel service plus large, au niveau du littoral français, à partir d'un minimum et d'un maximum de service potentiel propre au « bassin de risque » et propre à la façade atlantique de la France. Il faut entendre par bassin de risque la prise en compte par exemple dans un service protection contre les submersions, d'une cote d'aléa maximum homogène sur un secteur côtier appelé donc bassin de risque : la cote Xynthia retenue par exemple dans le PPRL de l'île de Noirmoutier est de 4.20, tandis que la cote centennale GIEC est de 4.80. Cette cote n'est bien évidemment pas la même dans un autre bassin de risque.

1.1. Service protection : principe général

Un résultat cartographié du service protection illustrant ce protocole est présenté (Fig.3).

Dix variables sont dérivées des données LIDAR, satellitales et aériennes :

- altitude moyenne,
- volume de sable,
- entropie,
- cuvettes de déflation actives,
- rides et pics,
- évolution du trait de côte depuis 50 ans,
- présence de défenses côtières,
- taux de recouvrement végétal,
- largeur de la dune blanche,

ainsi que deux variables d'enjeux :

- distance urbanisation – trait de côte,
- surfaces urbanisées.

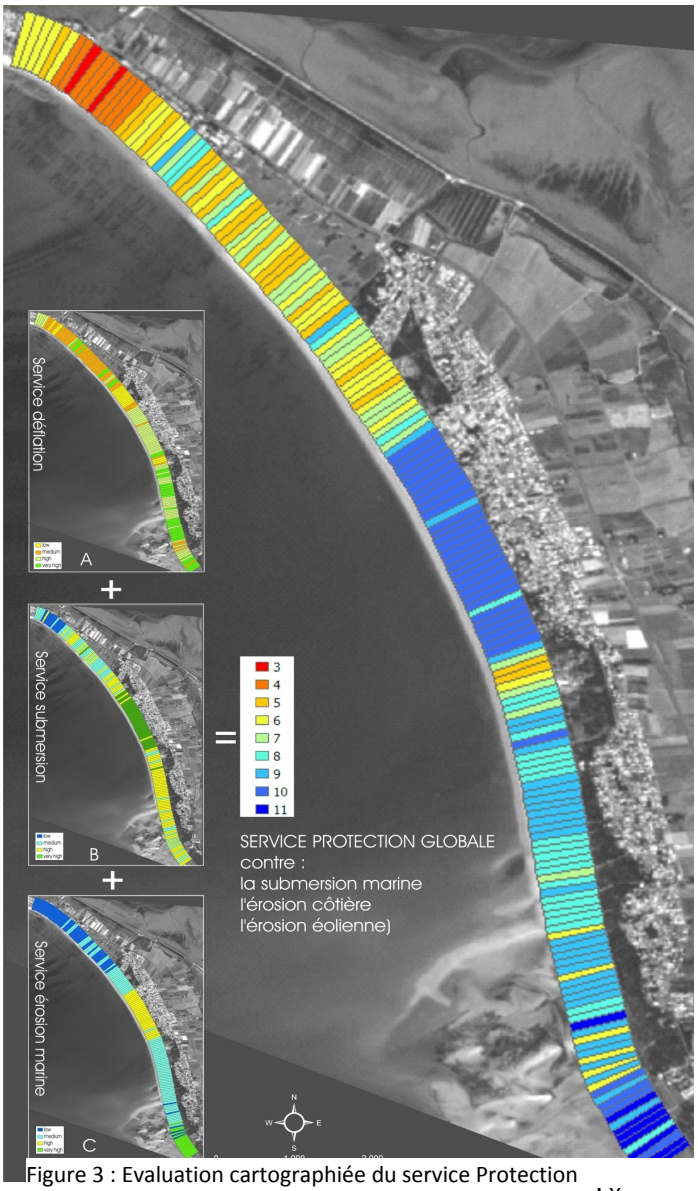


Figure 3 : Evaluation cartographiée du service Protection

Ces variables sont intégrées dans les unités d'observation (boites) et mises en relation les unes avec les autres afin d'assurer, par leur densité de présence et la densité de la combinaison (occurrence) de variables, une évaluation fiable du niveau de service rendu.

La démarche est entreprise pour les 3 volets du service Protection (érosion marine, déflation éolienne, submersion). L'addition de ces 3 volets amène à l'identification d'un service Protection global, mesurant pour chaque unité d'observation leur niveau de service. Cette approche offre une vision précise de l'état de chaque segment dunaire et est conçue à un premier niveau scalaire «global» opérationnel pour le gestionnaire.

Le constat ainsi effectué sur cette partie de Noirmoutier met en évidence la faiblesse de la partie nord de la flèche en regard des aléas potentiels pour des raisons de structure de la dune barrière (épaisseur faible, faible volume de sable, configuration topographique optimale face à la submersion, érosion chronique malgré des défenses côtières, enjeux très élevés). Le rouge signale ainsi une déficience de service tandis que le bleu signale un service assuré. Le dégradé de couleur correspond à la dégradation du service.

L'intervention du gestionnaire est ainsi facilitée par cette vision synoptique de la

déficience du service qui, mise en relation avec les degrés d'enjeux sociétaux, permet d'optimiser les interventions en les ciblant. Une fois identifiées les unités d'observation à risque, un zoom à une échelle fine (second niveau scalaire) est effectué pour cibler les formes responsables de la dégradation du service et adopter une stratégie de gestion afin d'en minimiser la portée.

1.2. Service protection : détail de la méthodologie. Exemple des caoudeyres.

La dimension, la densité et le degré de fonctionnalité des caoudeyres (ou cuvettes de déflation active) est un géoindicateur du degré d'éolisation du massif ainsi que du degré de fragilité au regard de l'érosion marine mais aussi un indicateur de la perméabilité du massif au regard de la submersion.

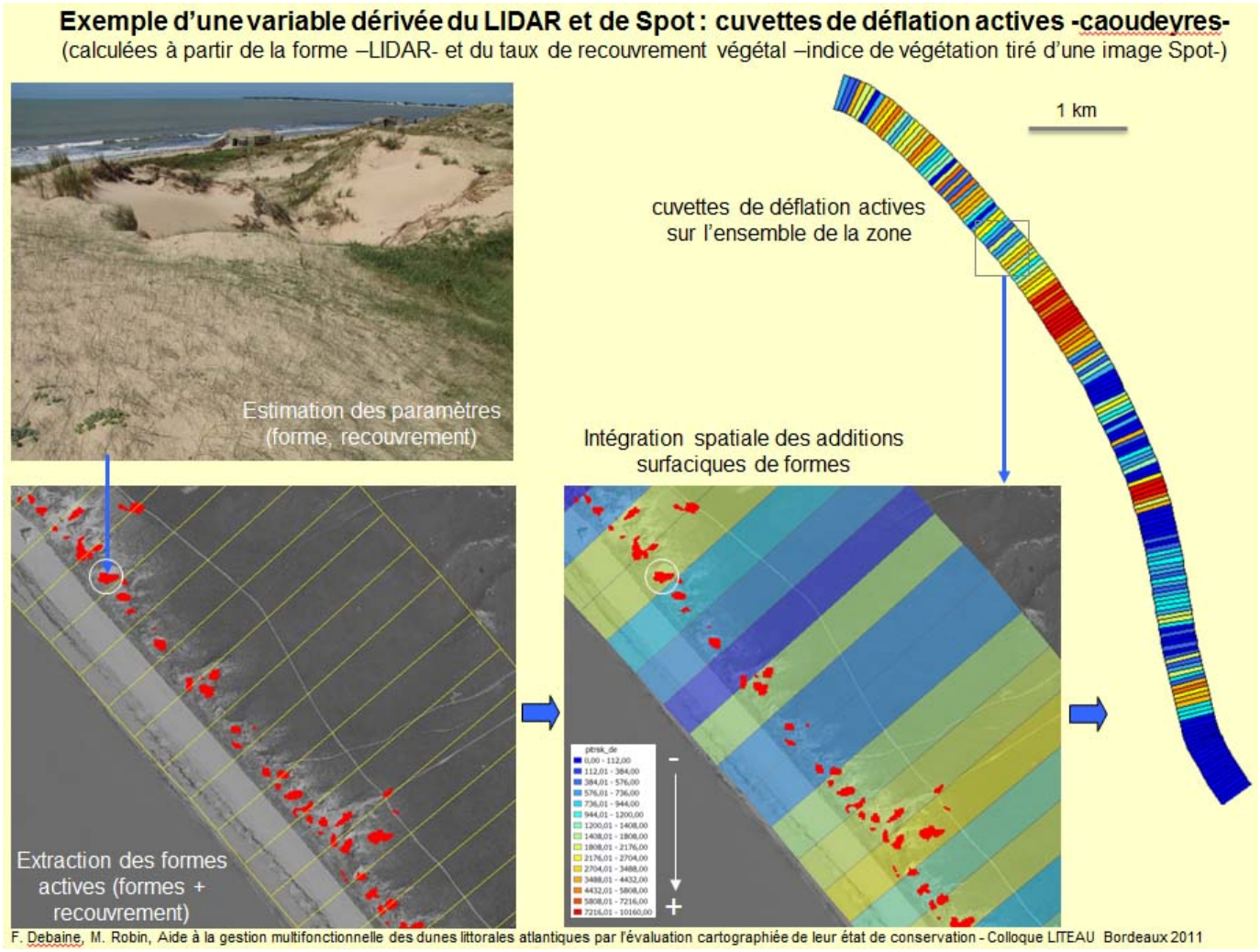


Figure 4 : Intégration de la variable « surfaces des caoudeyres » (cuvettes de déflation active) au sein des boites

La dérivation des données LIDAR permet a) de cerner au plus près cette forme (dimension volumétrique), b) d'estimer la densité de caoudeyres au sein d'une unité d'observation (surface cumulée en m^2 de caoudeyres au sein d'une boite) et c) d'évaluer son degré d'activité (taux de recouvrement végétal de la forme à partir d'un indice de végétation) (Figure 4).

Au niveau du gestionnaire, ce géoindicateur dans sa dimension spatiale permet ainsi deux niveaux d'intervention : a) à une échelle plus globale : une vision synoptique de la présence/absence des caoudeyres (densité) sur l'ensemble d'un massif dunaire de nature à attirer l'attention sur des secteurs fragiles ; b) à une échelle fine, au niveau de chaque forme : une aide au ciblage des caoudeyres à traiter selon le critère forme (volume et degré d'activité). Le croisement de ce géoindicateur avec d'autres permet de hiérarchiser les priorités d'intervention : par exemple, la proximité d'une caoudeyre avec le trait de côte ou encore la proximité rétro-littorale d'une zone à fort enjeu humain (urbanisation). Ce niveau de croisement repose sur la

coïncidence spatiale des divers géoindicateurs pris en compte, ce qui est réalisé à l'intérieur des unités d'observation.

2. Développement de la méthode vers les Pays de Monts (Vendée)

La méthode Multidune (partie Evaluation du service Protection) est en cours de développement vers le sud de la Vendée, dans le cadre de l'Observatoire du Littoral des Pays de Monts, sur le territoire de la communauté de communes Océan-Marais de Monts. Des boites de 500 m*50 m ont été déployées et les variables introduites dans ces boites y ont été intégrées avec quelques ajouts. Plus précisément, trois raffinements ont enrichi la méthode :

- **utilisation de transects** pour évaluer la dynamique non linéaire du trait de côte depuis 1920 (et non plus l'intersection de lignes créatrices de surfaces dynamiques). La figure ci-après représente ces valeurs pour divers pas de temps, pour illustration : 1950-1971 (à gauche) ; 1971-2000 (au centre) ; 2000-2010 (à droite).

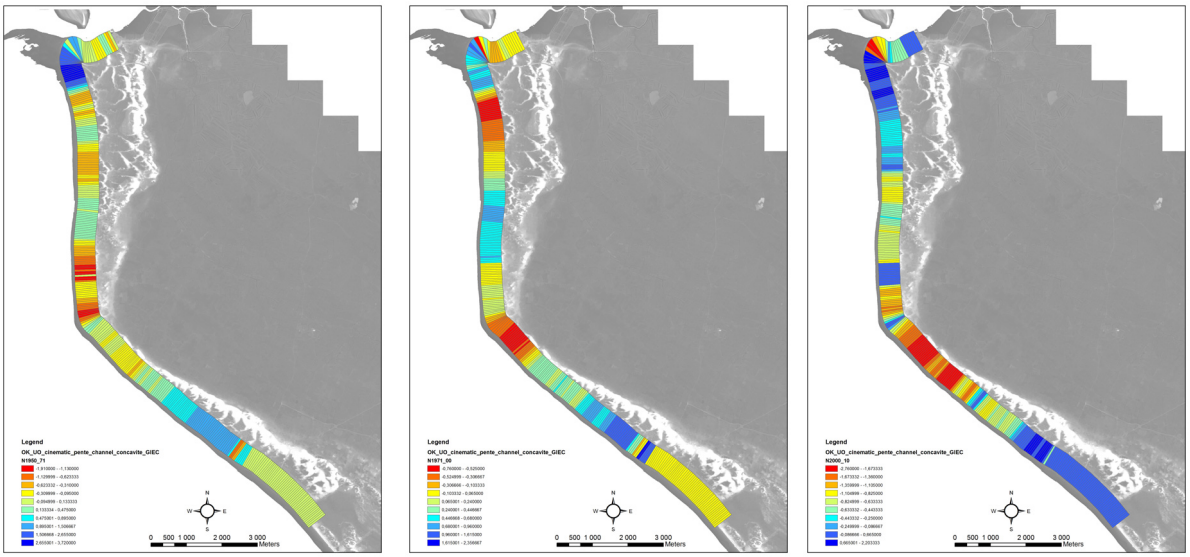


Figure 5 : Evolution du trait de côte du Pays de Mont à divers pas de temps : intégration des valeurs calculées par le DSAS dans les boites (1950-1971 à gauche, 1971-2000 au milieu, 2000-2010 à droite)

- **Ajustement du secteur côtier au bassin de risque** correspondant à la nouvelle cote Xynthia (4,20 m) et à la projection centennale suivant les estimations du GIEC (cote à 4,80 m). Nous avons souhaité introduire cette cote de façon à être en phase avec le déploiement des Plans de Prévention des Risques Littoraux sur la zone qui retiennent ces cotes pour le zonage du risque maximum.
- Intégrer **deux nouvelles variables tenant compte a) de la typologie du contact plage/dune :** pour créer cette nouvelle variable, nous avons calculé les dérivées premières et secondes du contact plage/dune à partir des données litto3D (10 m de part et d'autre du trait de côte 2010) et nous en avons déduit une typologie en 12 classes. La carte ci-dessus (au centre) représente l'intégration des formes du contact plage/dune dans les boites avec un indicateur concavité du contact. La carte à droite représente la pente du contact plage/dune. **b) La seconde variable correspond à la piézométrie** au niveau du contact plage/dune : l'utilisation de relevés piézométriques nous permet d'envisager la connaissance précise des résurgences sur les plages, de nature à contribuer à la déstabilisation par perte de cohérence du sédiment au droit des résurgences. Nous sommes en train de terminer ce travail qui sera très prochainement intégré dans les boites.

An final, nous aurons un raisonnement spatialisé étoffé par rapport aux premiers tests déjà concluants sur Noirmoutier.

II – EVALUATION CARTOGRAPHIEE DE L'ETAT DE CONSERVATION DES DUNES LITTORALES ATLANTIQUES AU REGARD DU SERVICE BIODIVERSITE

1. Cartographie et évaluation des habitats : une nécessité

La prise en compte des habitats naturels et semi-naturels est aujourd'hui perçue comme une nécessité dans la mise en place des politiques de conservation de la biodiversité. Cette évolution est perceptible à tous les niveaux : politiques européennes, nationales et régionales, opérations locales de gestion des sites naturels, diagnostics dans les sites Natura 2000, les ZNIEFF, les ENS en vue de l'élaboration des plans de gestions et autres DOCOB, études d'impacts.

Quel que soit le niveau d'intervention, il devient donc indispensable de disposer d'outils d'aide à la décision, fondés sur une estimation systématique, et homogène, régulière dans le temps et dans l'espace, la plus objective et la plus fiable possible permettant d'évaluer la pertinence des choix d'action, de prévoir les effets des mesures de gestion engagées, d'améliorer ainsi les actions, la planification et les décisions futures.

Cependant, force est de constater que malgré de fortes prétentions en matière de protection et de conservation des habitats, perceptible à travers la multiplicité et la superposition sur le plan spatial des réglementations, on ne dispose pas d'outil de diagnostic et de mesure des enjeux permettant des évaluations objectives, quantifiables, et comparables à l'échelle des habitats. Les connaissances restent ainsi lacunaires et fragmentées. On en veut pour illustration la tentative d'évaluation de l'état de conservation des habitats d'intérêt communautaire en France, qui n'a peu être établie dans la très grande majorité des cas qu'à « dire d'experts », faute de données objectives et quantifiables disponibles.

Des outils de suivi existent déjà :

Sur un certain nombre de sites du littoral français on dispose de bases de données, numériques ou non, contenant des inventaires périodiques des caractères floristiques et éco-dynamiques effectués le long de transects ou/et sur des stations précisément délimités. Le « Sommier des dunes » par exemple mis en place par l'ONF, récapitule sur SIG l'ensemble des travaux réalisés sur les dunes domaniales.

Mais les outils permettant des suivis et évaluations objectives et quantifiables ne sont pas au point…

La question n'est pas tant celle des connaissances sur la végétation qui, du moins pour les sites dont la gestion ou le suivi scientifique sont anciens, est souvent -grâce à de nombreux relevés phytosociologiques- très précise. La question est celle de l'accessibilité et du format de stockage de l'information collectée : quel pourcentage des données accumulées depuis beaucoup d'années est effectivement exploité et mis au service d'une meilleure connaissance de l'évolution du site ? Quel pourcentage est exploitable ? La question est donc celle de la structuration et de la gestion des données mais pas uniquement.

La question est celle de la pertinence du relevé comme élément de base du diagnostic. Le relevé est un outil de connaissance de la végétation au niveau le plus fin perceptible par l'œil, celui de la plante. Sur le plan spatial il peut être assimilé à une information ponctuelle même si les quadrats ont une surface, celle-ci en milieu herbacé est très souvent inférieure ou égale à 1m². Il peut s'agir aussi d'une information linéaire dans le cas de relevés le long d'un transect dont la largeur est également le plus souvent très faible voir réduite au contact avec la ligne. Le transfert d'échelle entre ces informations très fines sur le plan sémantique comme sur le plan spatial et une information sur l'état de conservation des habitats qu'elles décrivent n'est pas maîtrisé.

Par ailleurs, la comparaison des relevés successifs, souvent effectués par des observateurs différents, en fonction d'objectifs particuliers et sur des espaces qui ne sont pas toujours repérés précisément, est toujours délicate. La mise en place de tels suivis est par ailleurs longue et coûteuse et peut difficilement être appliquée de façon homogène et régulière à l'ensemble des habitats dunaires.

L'information obtenue par l'analyse phytosociologique des relevés doit donc être intégrée à des niveaux d'échelle plus petits. Le relevé est l'unité de base de la connaissance de la végétation du site, mais il ne peut être l'unité de base du diagnostic d'évaluation.

2. Segmentation multiscalaire de l'espace dunaire pour un diagnostic

Le protocole méthodologique développé dans Multidune s'appuie sur une stratégie de segmentation de l'espace dunaire en unités de base ou objets à plusieurs niveaux d'échelle ou de résolution. Ces informations de base peuvent ensuite être pondérées et combinées au sein des unités d'observation ou boites.

La difficulté est de définir les niveaux de segmentation pertinents pour rendre compte des différents paramètres qui peuvent fonder le diagnostic d'état du milieu. Ces paramètres sont classés en deux catégories : Biodiversité et Naturalité.

2.1. Biodiversité

L'évaluation du service Biodiversité est menée à travers la caractérisation de la végétation. Nous ne prenons pas en compte la composition faunistique des habitats. La végétation est dans la majorité des cas le support des habitats. La végétation est un révélateur très précis des conditions du milieu en particulier dans les milieux à très fortes contraintes comme les dunes littorales. C'est enfin une composante inscrite spatialement, il est donc possible de l'analyser par télédétection et de mesurer ainsi les caractères spatiaux (surface, structure) de sa dynamique à différents niveaux, habitat, intra-habitat ou faciès et espèce.

La Diversité est sur le plan écologique un critère de bon état quel que soit le niveau d'analyse paysage, habitat, population. On la caractérise ici au niveau Habitat, Faciès, Espèce.

a) Variable « Habitats »

La végétation des dunes littorales atlantiques est organisée en bandes parallèles à la côte selon un gradient décroissant de l'influence du vent, de la salinité et des mouvements sableux. L'importance relative d'un habitat ou d'un caractère du paysage végétal (faciès), sa progression aux dépens d'un autre et la rapidité de ce changement sont des indicateurs biologiques d'évolution progressive ou régressive selon que la stabilité du milieu augmente ou diminue.

- Ainsi, un premier niveau de segmentation nommé variable Habitat répond aux questions :

- Quelle est la composition de l'espace dunaire en termes d'habitats
- Quelle est la surface couverte par chaque habitat ?
- Quelles est la surface relative de chaque habitat au sein de l'habitat Dune littorale non boisée ?
- Où se situe le site par rapport à la référence en termes de diversité des habitats dunaires ?

Répondre à ces questions selon un pas de temps régulier (par exemple un pas de 3 à 5 ans semble pertinent pour juger de la dynamique du milieu observé) est un objectif majeur. On rappellera que l'aire de répartition de l'habitat et la superficie recouverte par l'habitat au sein de cette aire sont deux paramètres retenus par la Commission européenne[5] pour l'évaluation de l'état de conservation des sites Natura 2000.

- Le référentiel choisi est la typologie définie dans le Manuel d'Interprétation des Habitats de l'Union européenne EUR27 (2008)

Il fallait choisir en effet une typologie des habitats couramment utilisée dans les documents relatifs à la gestion ou la protection de l'environnement. Cependant l'analyse de la végétation au sol, observations et relevés phytosociologiques, met en évidence des habitats non répertoriés ou faciès de transition entre les différents habitats qu'il est pertinent de délimiter dans la mesure où ces écotones sont souvent très riches sur le plan spécifique et constituent des zones clés en termes de dynamique.

- Variable Habitat : typologie retenue (les codes et les définitions sont celles de la typologie EUR 15- 27)
  - Dunes mobiles embryonnaires (2110)
  - Dunes mobiles du cordon littoral à *Ammophila arenaria* (dunes blanches) (2120)
  - Dunes côtières fixées à végétation herbacée (dunes grises) (2130)
  - Dunes à Salix repens ssp. Argentea (2170)
  - Dépressions humides intradunales (2190)

  Faciès de transition :
  - Ourlet pré-forestier (frange forestière)
  - Dunes boisées littorales

[5] European Commission 2005. *Assessment, monitoring and reporting of conservation status* – Preparing the 2001-2007 report under Article 17 of the Habitats Directives (DocHab-04-03 rev.3), Note to the Habitats Commmitee, European Commission, DG Environment, Brussels.

b) Variable « Faciès »

La variable Habitat est un niveau nécessaire mais souvent insuffisant pour rendre compte de l'état de conservation d'un massif dunaire et des modalités qu'y revêt la biodiversité. La variable intitulée « Faciès » correspond donc à un second niveau de segmentation emboité dans le précédent. Il s'agit à ce niveau de caractériser la végétation selon deux critères : le recouvrement et la composition floristique.

- Le recouvrement végétal est une information pertinente en termes d'état, en particulier dans les situations extrêmes, il caractérise la stabilité du substrat.
- La composition floristique est un paramètre incontournable pour caractériser les habitats sur le plan de la biodiversité. Par le terme de composition il faut surtout mettre l'accent sur la présence des espèces caractéristiques d'un point de vue phytogéographique (ou espèces clé de voûte)[6] de l'habitat.

■ Ainsi, un second niveau de segmentation nommé variable Faciès répond aux questions :

- Quelles sont les variantes de la mosaïque végétale intra dunaire ?
- Quels est le degré de stabilité du système ?
- Quelles sont les tendances dynamiques ?
- Quels sont les enjeux de la gestion et de la conservation ?

■ Typologie retenue au niveau Faciès :

❍ Dunes mobiles du cordon littoral à *Ammophila arenaria* (dunes blanches) :

- Couvert absent, rare ou peu dense (taux de recouvrement entre 0 et 25 %)
- Couvert dense d'*Ammophila arenaria* (Oyat) et *Elymus farctus* (Chiendent des dunes)
- Faciès de transition (dune semi fixée)

❍ Dunes côtières fixées à végétation herbacée (dunes grises) :

- Faciès caractéristique de dune grise (référence locale ou attendue)
- Faciès perturbé de dune grise
- Faciès de transition ensablé

c) Variable « Espèces »

La variable « Espèces » correspond à un troisième niveau de segmentation de l'espace dunaire, niveau nécessaire pour compléter la caractérisation du service Biodiversité et l'état de conservation. Trois types d'espèces ont une valeur indicatrice sur ce plan :

- Espèces rares
- Espèces végétales invasives
- Le Pin maritime

2.2. Naturalité

La naturalité est un paramètre complémentaire de la biodiversité pour juger de la qualité écologique d'un milieu. Selon Lecomte (1999), « la naturalité d'un système écologique s'apprécie le long d'un gradient. La variable « naturalité » peut être estimée en fonction de l'influence des activités humaines sur l'évolution du système considéré ». Il s'agit ici d'apporter des éléments objectifs et quantifiés à la caractérisation d'un massif dunaire comme milieu naturel, de le situer sur une échelle allant de l'artificialisation complète (naturalité = 0) à la naturalité (artificialisation = 0). Etant donnée l'ampleur des pressions qui s'exercent sur les littoraux de nos jours, les milieux dunaires peuvent difficilement prétendre à la naturalité, tout au plus à une semi-naturalité. La cartographie des différentes modalités de l'artificialisation permet de comparer les situations à l'échelle du

[6] Rozé F. 2002 : Dynamique, analyse et typologie des dunes grises. Connaissance et gestions durables de dunes de la côte atlantique, ONF, *Les Dossiers Forestiers* n°11, p. 122-127.

littoral français. Elle permet de mesurer les enjeux en matière de conservation à l'échelle d'un massif, de mettre en évidence l'origine des perturbations, d'anticiper les leurs effets.

a) Modalités de l'artificialisation

Les activités humaines responsables de l'artificialisation du milieu dunaire sont classées en trois catégories en fonction du type d'influence qu'elles peuvent exercer. Ces indicateurs sont mesurés (surface couverte) sur l'ensemble du massif dunaire puis intégrés dans les unités d'observation (boites).

A1 – Artificialisation du substrat : surfaces recouvertes artificiellement (surfaces cimentées, goudronnées, asphaltées ou stabilisées : terre battue, par exemple), sans végétation occupant la majeure partie du sol. Ces surfaces comprennent :

- les bâtiments,
- les blockhaus et forts,
- le réseau routier (y compris voierie),
- les parkings hors tissu urbain,
- les espaces verts artificialisés non agricoles :
  - Terrains de campings,
  - Terrains de sport
  - Terrains militaires,
  - Golfs
  - Hippodromes

A2 – Artificialisation du cortège floristique :

- Surfaces agricoles
- Forêts issues majoritairement de la plantation
- les espaces verts urbains (espaces végétalisés inclus dans le tissu urbain. Y compris parcs urbains et cimetières avec végétation)

A3 – Artificialisation induite par la fréquentation

- Chemins
- Circuits de moto-cross

b) Quand l'artificialisation conduit à la fragmentation

La fragmentation du milieu dunaire induite par les différentes modalités de l'artificialisation en particulier celles de la catégorie A1, en ce qu'elle a un impact sur les fonctions écopaysagères des éléments qu'elle isole, doit également être prise en compte dans le diagnostic. Il s'agit ici de situer les objets artificialisés sur la dune, l'impact n'étant pas le même selon leur distribution spatiale. La rupture de la continuité écologique est d'autant plus néfaste qu'elle intervient à proximité du trait de côte. Ainsi, au critère « surface couverte par les objets de type A1 » qui exprime le niveau d'artificialisation est ajouté le critère « fragmentation » correspondant à la distance minimale des bâtiments à au sein de l'unité d'observation ou boite.

3. Matériel, méthodes et résultats

L'utilisation des données d'observation de la terre pour le contrôle de la conservation de la nature a été limitée du fait d'un décalage, jusqu'à une période récente, entre la résolution spatiale et thématique de ces données et les besoins de l'utilisateur, scientifique et gestionnaire. Ainsi, la plupart des applications en matière de cartographie des habitats reposent sur l'interprétation visuelle des images satellitales, la photo interprétation des photographies aériennes ou, on l'a dit, sur des relevés de terrain. Or, ces méthodes traditionnelles ne s'accordent pas avec les exigences d'une demande croissante en données spatialement explicites sur la qualité écologique de sites protégés et sur les menaces qui pèsent sur eux. Pour s'adapter aux exigences scientifiques mais aussi à celle des politiques européennes, le développement de stratégies de contrôle plus efficaces en termes de temps et de coût est obligatoire. Le développement de la commercialisation des données satellitaires très haute résolution d'une part, les évolutions en matière d'analyse de ces images, des photographies aériennes numérisées et d'intégration de données d'origine et de nature diverse (cf. approche orientée-objet) permettent d'envisager le recours systématique aux données de télédétection pour l'évaluation des états de conservation. C'est ce que nous avons démontré dans Multidune.

3.1. Biodiversité

a) Sources

a.1. Pour une cartographie opérationnelle : les orthophotographies

Deux types de données nous paraissent pertinents pour l'obtention des différents niveaux d'informations nécessaires au diagnostic du service Biodiversité. La très haute résolution spatiale est le critère privilégié. Nous avons donc décidé d'utiliser comme source d'information de base les orthophotographies aériennes : BD ORTHO® de l'IGN visible et infrarouge. Cette composante du RGE est aujourd'hui facilement accessible (Directive Inspire), renouvelée selon une périodicité qui dans la majorité des cas permet un suivi à un pas de temps pertinent de 5 ans. Elle est par ailleurs déjà l'outil de base des gestionnaires qui y délimitent leurs actions.

a.2. La télédétection hyperspectrale : démarche scientifique exploratoire

En marge de ce choix guidé par la nécessité de produire un outil accessible et opérationnel, nous avons entrepris une analyse exploratoire des potentialités de la télédétection hyperspectrale pour la cartographie de la végétation.

a.3. Les relevés de végétation pour une analyse phytosociologique

Au total 316 relevés de végétation, sur des quadrats d'1 x 1 m ont été réalisés par Françoise Rozé en avril et mai 2009 sur les différents sites test : Noirmoutier (dune de Luzéronde et de la Tresson (Fig. 9), la Réserve de la Pointe d'Arçay (Vendée), les sites de l'anse du Verger et de l'anse des Chevrets en Ille et Vilaine et les dunes domaniales de Quiberon - Plouharnel (Morbihan). L'analyse phytosociologique a mis en évidence les caractères floristiques de ces différents sites et détecté des variantes locales des différents habitats.

Figure 6 : Relevés de végétation sur la dune de la Tresson (Noirmoutier)

3.2. Naturalité

Les données nécessaires à la caractérisation de la naturalité soit les différentes modalités de l'artificialisation des milieux dunaires sont obtenues à partir des sources suivantes :

- A1 : Données du RGE : BD PARCELLAIRE® (parcelles, bâtiments,), BD TOPO® (routes, bâtiments remarquables, aménagements sportifs et de loisir) et photo-interprétation à partir de la BD ORTHO® (Parkings, campings)
- A2 : BD ORTHO® (analyse d'images)
- A3 : BD ORTHO® (analyse d'images)

3.3. Intégration dans un SIG

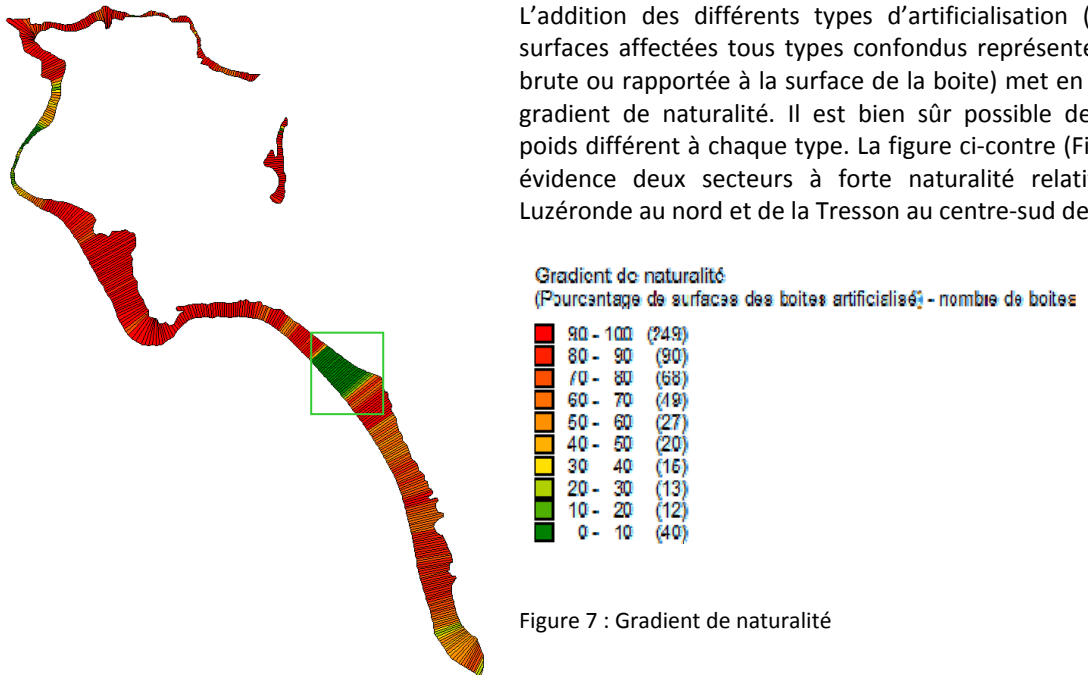
Les informations extraites des images sont intégrées dans un SIG (ArcGIS) où elles sont stockées sous format vecteur. C'est au sein du SIG que sont effectuées les différentes analyses (mesures de surfaces, analyse multicritère et intégration de l'information dans les boites).

3.4. Déroulé du protocole sur le massif dunaire de Noirmoutier (Vendée)

Les figures ci-dessous illustrent deux phases de l'analyse du service Biodiversité sur le massif dunaire de Noirmoutier.

1. Caractérisation du massif en termes de Naturalité

La base de données construite intègre les informations recueillies et traitées en vue de la caractérisation de la variable naturalité. On dispose ainsi d'une information objective, précise localisée et quantifiée 1) à l'échelle de l'objet élémentaire et 2) à l'échelle du massif dunaire (intégration de l'information dans les boites). Il est ainsi possible de répondre à différentes questions relatives à l'état de conservation de l'écosystème : 1) **où** ? s'exercent les pressions anthropiques 2) **combien** ? dans quelle mesure ? par le calcul des surfaces affectées et enfin 3) **comment** ? c'est-à-dire, quelle est la nature de ces pressions ? Les plus durables (les surfaces recouvertes artificiellement, comme les surfaces bâties) conduisent à une réaffectation complète de l'écosystème, et à la perte de ses caractères naturels (en termes de composition et de fonctionnement). Ecosystème détruit, transformé, dégradé ou simplement perturbé, selon les diverses modalités de l'anthropisation, il est ainsi possible de classer finement les unités de territoire observées.



L'addition des différents types d'artificialisation (somme des surfaces affectées tous types confondus représentée en valeur brute ou rapportée à la surface de la boite) met en évidence un gradient de naturalité. Il est bien sûr possible de donner un poids différent à chaque type. La figure ci-contre (Fig. 7) met en évidence deux secteurs à forte naturalité relative celui de Luzéronde au nord et de la Tresson au centre-sud de l'île.

Figure 7 : Gradient de naturalité

2. Caractérisation de la Biodiversité au niveau Habitat et au niveau Faciès sur le site de la Tresson

Pour tester la méthode, nous avons choisi la dune de la Tresson (Fig. 8), située sur les communes de Barbâtre et de la Guérinière. Propriété du Conseil Général de la Vendée, elle a été classée Espace Naturel Sensible en 2008. Le site est géré par le service des ENS du CG85. Ponctuellement, l'ONF intervient pour y effectuer des travaux.

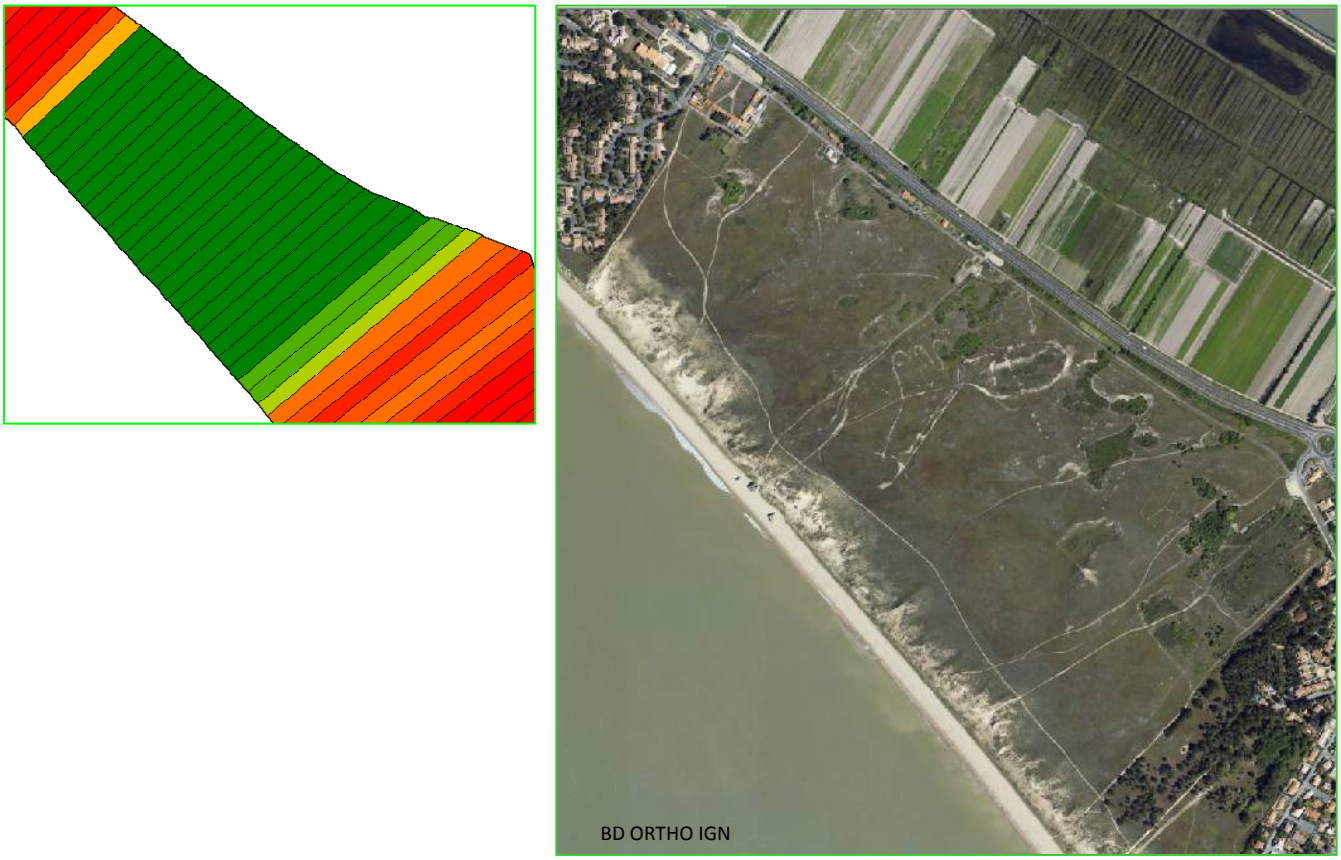


Figure 8 : La dune de la Tresson : un secteur à forte naturalité

2.1. Cartographie des habitats

Le premier niveau d'analyse de la biodiversité repose sur la cartographie des habitats. La tâche est très complexe, raison pour laquelle très peu de méthodes reproductibles sont actuellement disponibles. La principale difficulté tient à la nécessité de tracer des limites là où il a continuum. Il s'agit donc de trouver quelles sont les variables discriminantes pour caractériser chaque type.

Figure 9 : La dune à *Salix repens*

Figure 10 : La Dune boisée

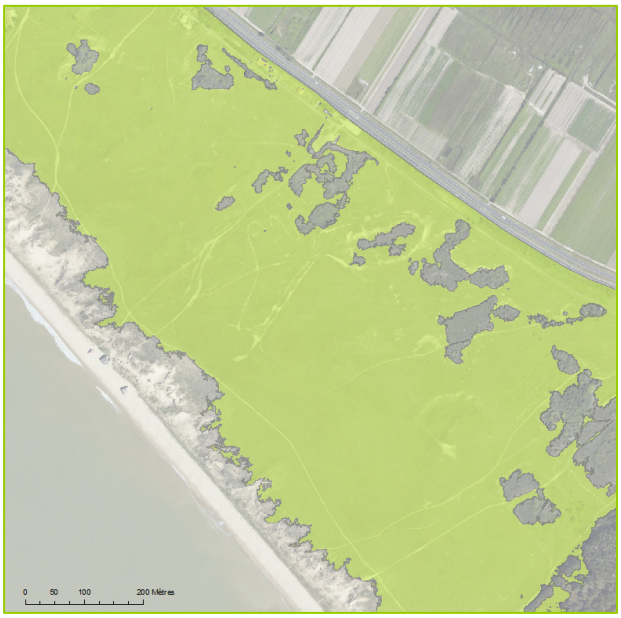


Figure 11 : La dune fixée (dune grise)

Figure 12 : L'ourlet

Figure 13 : Dune embryonnaire

Figure 14 : Dune mobile

La délimitation des habitats apporte des réponses quantifiées à la question de leur surface et de l'évolution de cette surface dans le temps. L'intégration de cette information dans les boites permet diverses représentations et comparaisons.

La surface n'est pas le seul critère d'évaluation de bon état, le nombre d'habitats, la diversité des habitats, la proportion relative de chacun d'eux au sein de la dune témoignent de la diversité des conditions écologiques, des réponses de la végétation et du fonctionnement de l'ensemble du système. La diversité des habitats au sein d'un site devient ainsi grâce à cette méthode un paramètre quantifiable et comparable d'un site à un autre, d'un massif dunaire à un autre.

La figure 15 : représente cette diversité : sous la forme d'un diagramme en barres empilées elle compare la contribution en pourcentage de chaque habitat par rapport à la surface totale des habitats identifiés (y) pour chaque boite composant le site (x). On dispose ainsi du profil type de la dune de la Tresson qui peut être comparé à d'autres profils types sur l'Île de Noirmoutier ou sur d'autres massifs dunaires du littoral atlantique. On peut ainsi caractériser la dynamique du système en comparant les profils d'un même site à plusieurs dates et ainsi mettre en évidence sa trajectoire.

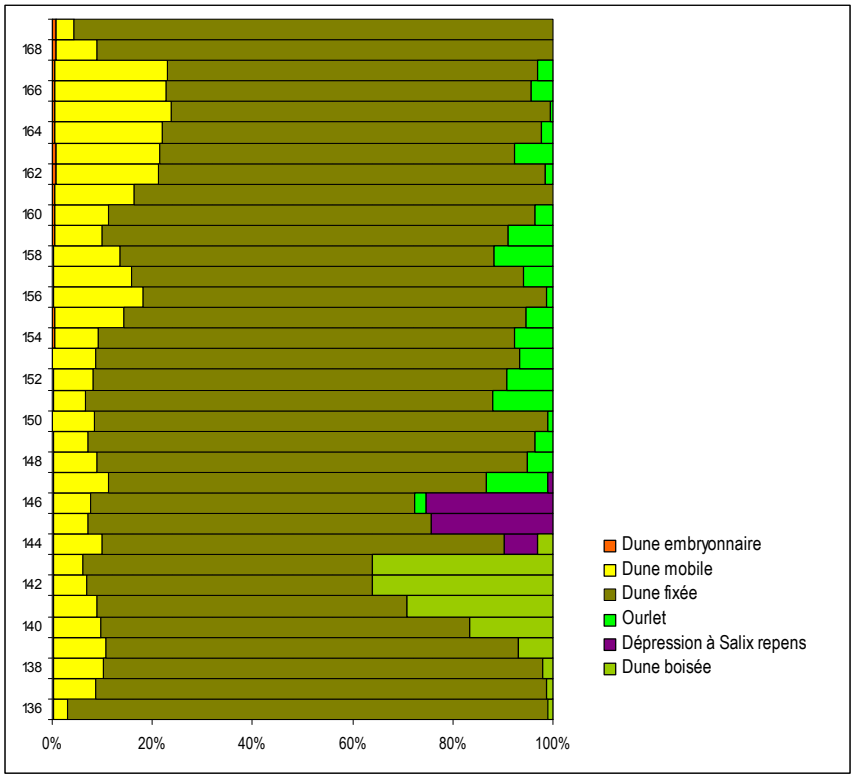


Figure 15 : "Profil" de la diversité de la dune au niveau Habitat

2.2. Cartographie des Faciès

Si le niveau Habitats est celui de l'évaluation à l'échelle du massif ou à l'échelle régionale et nationale, le niveau d'information Faciès est celui de la gestion, du diagnostic local et des actions. L'intérêt est de mettre en évidence et de mesurer de façon fine les faciès à surveiller (outil de gestion) mais surtout la cartographie permet de mieux cerner les interrelations spatiales entre les différents faciès (mosaïque intra-habitat) et d'anticiper l'impact de telle ou telle pression et de telle ou telle action de gestion (outil de connaissance du fonctionnement du système).

Exemple : Faciès de Dune Mobile : cartographie et intégration dans les boites

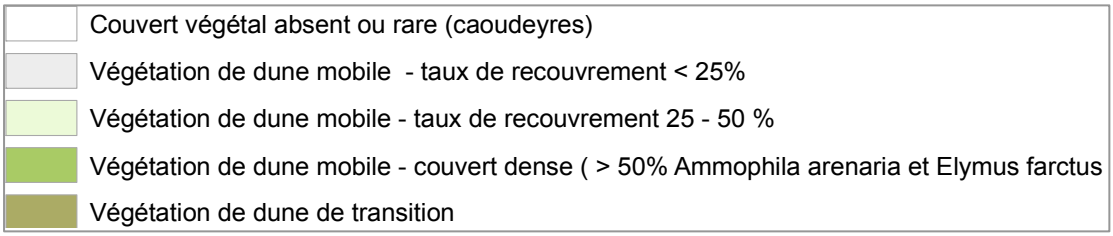


Figure 16 : Cartographie des faciès de dune mobile

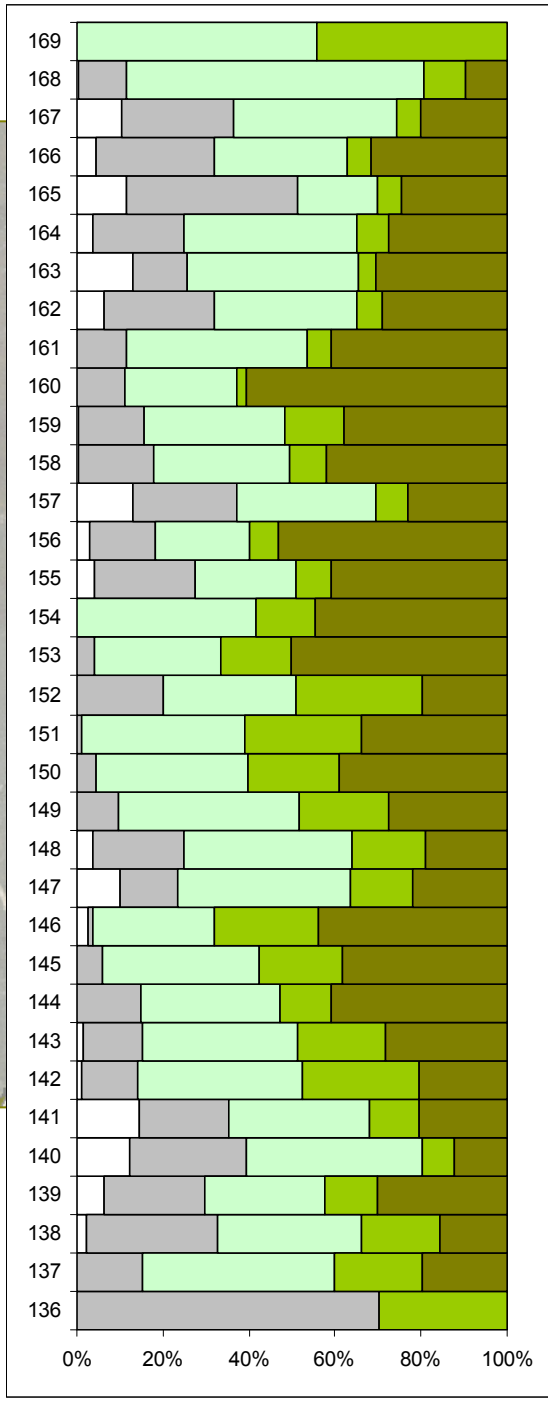


Figure 17 : Diversité des faciès de dune mobile (surface des faciès en % de la surface totale de l'habitat Dune Mobile)

La figure 18 présente le profil Diversité de la dune de la Tresson au niveau Faciès pour les dunes mobile et fixée et au niveau Habitat pour la dune embryonnaire, les fourrés et bosquets qui composent l'ourlet, la dépression à *Salix repens* et la dune boisée. On peut en déduire la composition précise et quantifiée de la mosaïque intradunaire, visualiser le degré d'hétérogénéité de la structure et apporter des éléments de réflexion à l'analyse des relations entre diversité et état de conservation : l'hétérogénéité doit elle être favorisée ? Dans quels cas est-elle au contraire synonyme de fragmentation et indique un état dégradé ? Quelle est la part des facteurs naturels et anthropiques dans cette mosaïque ? À quel niveau et où intervenir ?

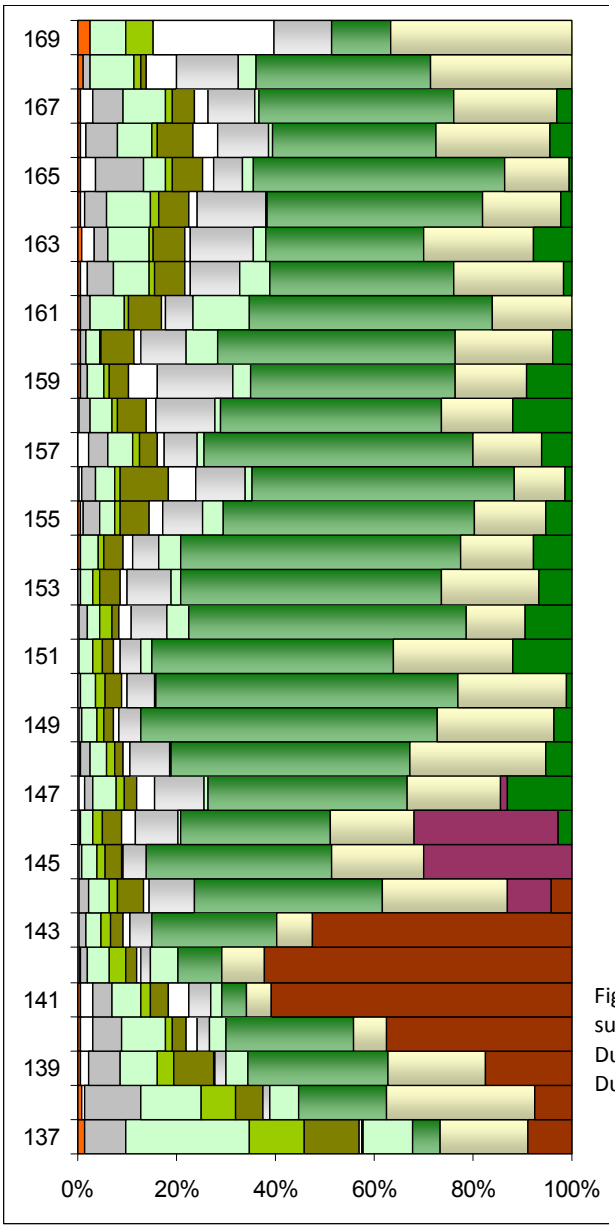


Figure 18 : Diversité du site de la Tresson (surface des faciès en % de la surface totale des habitats Dune embryonnaire (orange), Dune mobile, Dune fixée, Dépression *à Salix repens* (violet), Ourlet (vert foncé), Dune boisée (marron)

Conclusion générale et perspectives

Les divers objectifs du programme Multidune ont été en grande partie atteints :

Sur le plan de l'exhaustivité de la démarche, une proposition méthodologique pour un diagnostic opérationnel de l'état des dunes littorales atlantiques au regard des services rendus par cet écosystème a été formulée et validée. Qu'il s'agisse du service Protection contre les aléas météo-marins ou du Service Biodiversité, l'approche par unité spatiale a permis de lever les problèmes sur lesquels butaient nombres de démarches antérieures, et de proposer une solution simple pour spatialiser des interactions complexes, effectuer des

comparaisons entre différents espaces, pour créer de la statistique à une échelle unique, pour rendre possible l'intégration scalaire et ainsi adapter l'information à la demande en respectant des critères de reproductibilité, de généricité et donc d'harmonisation sémantique.

Le système Multidune ne se veut en aucun cas un système figé, et un outil de décision rigide, mais plutôt un terrain d'expérimentation qui allie recherche scientifique et développement opérationnel. La recherche méthodologique pour l'évaluation du service Protection et pour celle du service Biodiversité ont été menées en parallèle pour prendre en compte les spécificités de chaque service. Mais l'approche n'est pas sectorielle -les deux démarches passent par l'agrégation de l'information dans les boites- ; au contraire, elle offre les bases d'une réflexion globale, multi-services, objective et spatialisée à partir de l'analyse quantifiée d'un certain nombre de critères choisis.

La conservation et la gestion des milieux naturels est une affaire de choix et repose sur une hiérarchisation des enjeux, qui évolue dans le temps. Nous n'avons pas voulu aboutir à la formulation d'une seule et unique valeur d'état, combinaison des valeurs des différents critères retenus. Délimitation des objectifs à long terme, mesure des enjeux, évaluation des effets des actions et mesures de gestion ou de conservation engagées, alerte sur des situations à risque, Multidune se positionne à ces différents stades de l'analyse et donne matière à réflexion.

La méthodologie mise en avant dans Multidune n'a pas encore à proprement parler fait l'objet d'un transfert vers la sphère décisionnelle dans la mesure où il a été nécessaire de raffiner précisément les divers protocoles complexes et d'arriver à faire émerger des solutions simples et facilement transférables. Ceci dit, les protocoles ont été discutés au cours des diverses réunions et des mises au point ont été effectuées sur le terrain.

Le temps accordé à la mise au point les divers protocoles a empêché son déploiement sur l'ensemble des sites initialement prévus. Il nous est apparu toutefois que ces sites relèvent d'une même variabilité systémique et qu'il faudrait mieux reproduire la méthode sur des dunes relevant d'autres bassins de risque (un site en Manche/Mer du nord, un site en Méditerranée par exemple, afin de prendre en compte la variabilité métropolitaine, voire de prendre en compte un site outre-mer).

Mutidune a donc jeté les bases d'une collaboration solide entre scientifiques et gestionnaires qui trouve déjà des prolongements dans divers programmes :

- Perspective 1 : l'ONF s'est associé à l'UMR 6554 LETG qui coordonne une réponse à l'appel d'offre de la Fondation de France 2012 « *Quels littoraux pour demain ?* » dont l'objectif est de poursuivre le programme Liteau Multidune et de développer un véritable outil informatique dédié à l'appréhension des niveaux de services rendus par les dunes. Ce programme s'intitule « *Outil de DIagnostic multiscalaire du service protection DUNairE (DIdune)* ».
- Perspective 2 : Mutidune se déploie dans le cadre l'Observatoire du Littoral des Pays de Monts : elle offre un cadre à l'exploitation des données collectées.
- Enfin, Perspective 3, nous avons l'ambition de développer ce cadre d'analyse de l'information à un niveau national par l'intermédiaire du SOERE TC dans lequel l'Observatoire du Littoral des Pays de Monts vient d'entrer.

Eléments de Valorisation

Les résultats scientifiques ont été validés tardivement et les premières valorisations dans des revues impactées devraient s'accélérer en 2013.

Publications

- ✓ DEBAINE F. and ROBIN M., 2012, A new GIS modelling of coastal dune protection services against physical coastal hazards, *Ocean & Coastal Management* 63 (2012) 43-54 doi:10.1016/j.ocecoaman.2012.03.012
- ✓ DEBAINE F. and ROBIN M., 2013 (soumis), Quantifying landscape-ecological succession using an Object Based image analysis and an integrated Spatial Unit system : towards a global decision support system for the coastal dune conservation. (Landscape and Urban Planning)
- ✓ DEBAINE F. and ROBIN M., 2013 (en préparation - soumission fin janvier 2013) : Méthodologie pour l'évaluation des services protection et biodiversité rendus par les dunes littorales : l'agrégation multiscalaire au sein d'unités spatiales de référence. Vertigo-revue électronique en sciences de l'environnement.

- ✓ DEBAINE F. et ROBIN M., 2013 (juin) : Etat des services rendus par un cordon dunaire (planche de l'Atlas Permanent de la Mer et du Littoral), à paraître en juin 2013.

Colloques / séminaires :

- 2008 – Colloque Liteau 2 et 3 – Oléron ; participation F. Debaine et Loïc Gouguet (ONF).
- 2009 – Colloque Liteau – Montpellier ; participation F. Debaine - Poster
- Tournée MULTIDUNE aux Pays-bas et en Belgique (26-29 mai 2009). Comparaison problématiques de gestion et entrée scientifique en France / Pays Bas. Présentation du programme multidune auprès des gestionnaires des dunes (Agence Flamande Nature et Forêt, Instituut voor Natuur, Staatsbosbeheer, Amsterdam Water Supply). Visite de 6 sites, communication (mapping of atlantic Coastal Dunes conservation level for management taking into account several functions : coastal defence, biodiversity conservation, recreation and cultural value, F. Debaine (LETG), M. Robin (LETG), F. Rozé (ECOBIO), L. Gouguet (ONF), J. Favennec (ONF), and MC Pratt (EUCC).
- 2010 - Séminaire LETG « Géomatique et Occupation du sol » - Rennes, 30 mars 2010 – Cartographie des habitats dunaires atlantiques – F. Debaine, M. Robin, F. Rozé.
- 2010 – Assemblée Générale de l'Observatoire des Sciences de l'Univers Nantes-Atlantique (INSU – CNRS) – présentation du programme multidune – F. Debaine et M. Robin 30 novembre 2010 – Nantes.
- 2011 – Colloque Liteau Bordeaux F. Debaine, M. Robin.
- 2011 –Journée des observatoires du Trait de Côte, Paris - Poster Observatoire du littoral des Pays de Monts, participation du groupe Multidune.
- **2012 (4-5 avril) Journée EUCC France (*European Union for Coastal Conservation*) : restitution du programme avec atelier et visite terrain (70 participants).**

Rapports divers :

- ✓ SELLIN Vanessa, 2008, *Contribution à la cartographie de l'état des dunes littorales atlantiques*, Master 2 pro « Cartographie et Gestion des Espaces à Fortes contraintes, Université de Nantes (resp. F. Debaine).
- ✓ DEBAINE Françoise, 2009, *Aide à la gestion multifonctionnelle des dunes littorales atlantiques par l'évaluation cartographiée de leur état de conservation*, Rapport intermédiaire, 15 octobre 2009, 24 p.
- ✓ RAMONT Nicolas, 2010 : *Caractérisation du service de protection du cordon dunaire domanial en centre-Atlantique*, Master 2 pro « Cartographie et Gestion de l'Environnement », Université de Nantes (resp. Loïc Gouguet, ONF, et F. Debaine, Université de Nantes)
- ✓ JUIGNER Martin, 2011 : *Cinématique du trait de côte du Pays de monts de 1920 à 2009 (Vendée)*, Master 1 Recherche « Géographie et Aménagement des Territoires », Université de Nantes (resp. M. Robin et M. Maanan)
- ✓ Livret Guide des journées EUCC-France, 2012 (4 et 5 avril) : *Connaissance et gestion des dunes littorales / Risques d'érosion et de submersion*, Noirmoutier, 59 p.