



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

Ecosystem service based mapping of Atlantic Coastal dunes conservation state for management

Programme « Multidune »

Rapport intermédiaire

Université de Nantes – LETG - UMR 6554 / Géolittomer

Château du Tertre 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

Tél. : 33 (0)2 40 14 13 81 - Courriel : francoise.debaine@univ-nantes.fr

Date : 15/10/2009

N° de contrat : 001127

Date du contrat : 12/12/2007

Table des matières

Résumé long.....	4
Résumés	6
Rapport scientifique	7
Annexe : Textes des publications.....	24
Annexe : partie confidentielle	25

Résumé long

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 programme veut faire le lien entre recherche fondamentale et application de cette recherche en vue d'une meilleure connaissance, d'une meilleure compréhension et finalement d'une meilleure gestion des espaces dunaires.

Ainsi, sur le plan scientifique, il suppose une analyse des caractéristiques et processus qui fondent le diagnostic de « milieu altéré / dégradé / en mauvais état » et repose sur la connaissance des processus de fonctionnement des mosaïques dunaires, la mise en évidence des facteurs qui régissent leur fonctionnement (transit éolien, piétinement, faune ...), l'évaluation de la dynamique des communautés végétales, l'évaluation des conséquences des perturbations ou changements.

Ce programme répond à une nécessité pour les gestionnaires de disposer d'outils d'aide à la décision, fondés sur une estimation quantifiée, systématique, et homogène, régulière dans le temps et dans l'espace, la plus objective et la plus fiable possible leur 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.

Le suivi et l'évaluation de l'état des milieux naturels sont actuellement au cœur de toutes les 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 2001-2006, 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)).

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 durables ne sont pas au point...

Des données antérieures précieuses peuvent s'intégrer dans la méthodologie envisagée dans ce programme mais 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 écosystèmes dunaires.

La recherche méthodologique est au cœur du programme, puisqu'il s'agit d'apporter des réponses aux questions qui sous-tendent l'objectif général d'évaluation de l'état d'un écosystème au regard de plusieurs approches disciplinaires dans le but de fournir un outil utilisable par les gestionnaires de cet écosystème.

Nous proposons donc de mettre au point un outil de connaissance, de compréhension, de suivi, d'évaluation et au final d'aide à la gestion des dunes littorales. Nous cherchons à produire un outil d'évaluation multifonctionnelle qui intègre de façon fiable et reproductible la multiplicité des critères de détermination de l'état du milieu (en termes de composition, fonctionnement et services rendus), critères fondés sur l'observation d'indicateurs à différentes échelles et selon une périodicité diverse.

Le programme porte sur les dunes bordières non boisées répertoriées dans le manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (version EUR 15, 1999, actuellement version EUR 25, 2003) comme 2110 Dunes mobiles embryonnaires, 2120, Dunes mobiles du cordon littoral à *Ammophila arenaria* (dunes blanches), 2130 Dunes côtières fixées à végétation herbacée (dunes grises).

Quatre sites (ou ensemble de sites) ont été retenus pour leur localisation, leur configuration, leur diversité, la connaissance de la gestion passée que l'on en a :

1. les sites de l'anse du Verger, de l'anse Duguesclin, de Roz Ven, de l'anse des Chevrets et de Saint Briac gérés par le Conseil général d'Ille et Vilaine,
2. les dunes domaniales de Quiberon Plouharnel (Morbihan) gérées par l'ONF - Les Dunes du site du Mat Fenoux gérées par le CELRL,
3. les dunes domaniales de Noirmoutier (Vendée),
4. la Pointe d'Arçay (Vendée), RBD gérée par l'ONF – le Domaine Public Maritime dit de la « Pointe d'Arçay » géré par le CELRL.

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. Le protocole méthodologique intègre : les photographies aériennes (ORTHOLITTORALE 2000, BD ORTHO de l'IGN), des données hyperspectrales, les données terrain disponibles sous forme numérisée ou non, cartographique ou base de données (relevés, transects), des évaluations, des enquêtes, des cartes thématiques, des cartes topographiques, des données sur la topographie -dont nous évaluons la pertinence (LiDAR).

Nous testons l'approche orientée-objet, novatrice, pour cartographier (délimiter et classer) les habitats dunaires. Les méthodes orientée-objet peuvent conduire à une meilleure utilisation de l'information spatiale implicite dans les images de télédétection (texture, contexte, forme) et elles produisent une meilleure intégration avec les bases vecteur des SIG. Elles sont particulièrement adaptées aux besoins d'une approche multiscalaire dans le contrôle, la modélisation et la gestion de l'environnement. Elles permettent *in fine* d'asseoir la reconnaissance d'un état de conservation correspondant à une fonctionnalité sur un formalisme sémantique approprié. Pour chaque fonctionnalité de l'objet dunaire, un tel formalisme construit et confronté au formalisme de l'objet du monde réel autorise une classification très fine des objets dunaires en fonction du formalisme choisi. Il devient alors possible d'envisager une approche formalisée de la multifonctionnalité et, d'en déduire les états de conservation correspondant et de proposer une sorte d'état de conservation synthétique de ces espaces dunaires, adapté à une gestion intégrée globale.

L'idée est de formaliser l'analyse de l'image au sein d'un protocole reproductible ce qui pourrait être la garantie d'une opérationnalité de la procédure de création et de remise à jour d'une base de données sur l'état des dunes littorales par l'automatisation d'une démarche de photo-interprétation.

Résumé

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 : protection, conservation de la biodiversité et service culturel.

Ainsi, sur le plan scientifique, il suppose une analyse des caractéristiques et processus qui fondent le diagnostic de « milieu altéré / dégradé / en mauvais état » et repose sur la connaissance des processus de fonctionnement des mosaïques dunaires, la mise en évidence des facteurs qui régissent leur fonctionnement (transit éolien, piétinement, faune ...), l'évaluation de la dynamique des communautés végétales, l'évaluation des conséquences des perturbations ou changements.

Ce programme répond à une nécessité pour les gestionnaires de disposer d'outils d'aide à la décision, fondés sur une estimation quantifiée, systématique, et homogène, régulière dans le temps et dans l'espace, la plus objective et la plus fiable possible leur 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.

La recherche méthodologique est au cœur de cette proposition. Le protocole intègre en particulier les données obtenues par télédétection aérienne et spatiale, les données hyperspectrales et Lidar pour l'analyse desquelles sera testée la méthode orientée-objet particulièrement adaptée aux besoins cartographiques d'une approche multiscalaire dans le contrôle, la modélisation et la gestion de l'environnement.

Mots clés

Dunes littorales – gestion – conservation – service écosystémique – évaluation - état – télédétection – cartographie - analyse d'images orientée objet – écosystème- habitat

Abstract

The objective of the program "Multidune" is to propose an operational and reliable diagnosis method for the evaluation of the coastal dunes state, taking into account the awaited services provided by these ecosystems : protection, biodiversity conservation and cultural service.

Thus, scientifically, this program provides an analysis of the characteristics and processes that underpin the diagnosis of an environment "degraded / in a bad state". It is based on knowledge of the functioning of the dunes mosaics and on the evaluation of the dynamics of plant communities, and the evaluation of the consequences of disturbances or changes that affect them.

This program meets a need for managers to use decision making tools, based on an estimation that is quantified, systematic, homogeneous, regular in time and space, and which is the most objective and accurate as possible. Moreover, these tools must lead to assess the relevance of the choices of actions, to foresee the effects of the management measures and to improve planning and future decisions.

Methodological research is another central part of this program. The protocol includes in particular the use of remote sensing hyperspectral and LiDAR data. The Object Based Image Analysis methods are used for the mapping.

Key words

coastal dunes - management - conservation - ecosystem service – assessment - status - remote sensing - mapping - Object Based Image Analysis (OBIA) - ecosystem - habitat

Rapport scientifique

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

Membres de l'équipe :

Françoise DEBAINE (Université de Nantes, UMR 6554 LETG / GEOLITTOMER), **responsable scientifique du projet**,

Marc ROBIN (Université de Nantes, UMR 6554 LETG / GEOLITTOMER),

Françoise Rozé (Université de Rennes 1, UMR 6553 : ECOBIO)

Jean FAVENNEC et **Loïc GOUGUET** (Office National des Forêts)

Jade ISIDORE (Conservatoire des Espaces littoraux et des Rivages Lacustres)

Marie-Claire PRAT (EUCC France)

1. Rappel des 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 programme veut faire le lien entre recherche fondamentale et application de cette recherche en vue d'une meilleure connaissance, d'une meilleure compréhension et finalement d'une meilleure gestion des espaces dunaires.

Ainsi, sur le plan scientifique, il suppose une analyse des caractéristiques et processus qui fondent le diagnostic de « milieu altéré / dégradé / en mauvais état » et repose sur la connaissance des processus de fonctionnement des mosaïques dunaires, la mise en évidence des facteurs qui régissent leur fonctionnement (transit éolien, piétinement, faune ...), l'évaluation de la dynamique des communautés végétales, l'évaluation des conséquences des perturbations ou changements.

Ce programme répond à une nécessité pour les gestionnaires de disposer d'outils d'aide à la décision, fondés sur une estimation quantifiée, systématique, et homogène, régulière dans le temps et dans l'espace, la plus objective et la plus fiable possible leur 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.

Le suivi et l'évaluation de l'état des milieux naturels sont actuellement au cœur de toutes les 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 2001-2006, 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)).

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 durables ne sont pas au point...

Des données antérieures précieuses peuvent s'intégrer dans la méthodologie envisagée dans ce programme mais 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 écosystèmes dunaires.

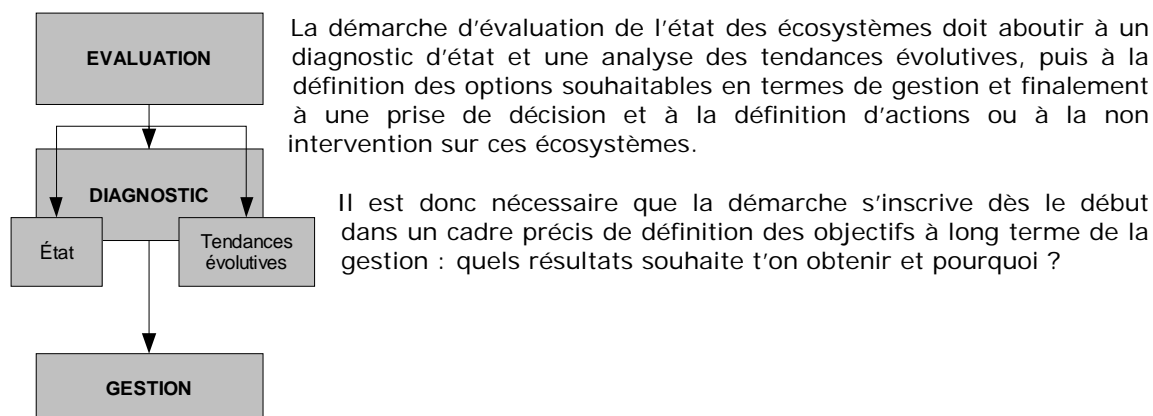
La recherche méthodologique est au cœur du programme, puisqu'il s'agit d'apporter des réponses aux questions qui sous-tendent l'objectif général d'évaluation de l'état d'un écosystème au regard de plusieurs approches disciplinaires dans le but de fournir un outil utilisable par les gestionnaires de cet écosystème.

Nous proposons donc de mettre au point un outil de connaissance, de compréhension, de suivi, d'évaluation et au final d'aide à la gestion des dunes littorales. Nous cherchons à produire un outil d'évaluation multifonctionnelle qui intègre de façon fiable et reproductible la multiplicité des critères de détermination de l'état du milieu (en termes de composition, fonctionnement et services rendus), critères fondés sur l'observation d'indicateurs à différentes échelles et selon une périodicité diverse.

2. Mise au point du protocole d'évaluation : état d'avancement de la réflexion

Différents points essentiels du protocole d'évaluation des écosystèmes dunaires sont présentés ci-dessous brièvement il seront développés et affinés ou complétés ultérieurement et présentés dans diverses publications.

2.1. Etape 1 : définition des objectifs à long terme de la gestion



2.1.1. Les dunes à l'interface terre/mer : dynamiques et multifonctionnelles

Le projet porte sur un espace à part entière qui s'avère être un espace d'interface à une certaine échelle.

Le lien avec la mer se fait par les échanges sédimentaires mer/terre via les dynamiques morphosédimentaires qui garantissent la présence ou l'absence d'une stabilité des massifs dunaires. Ces dynamiques sont en effet susceptibles d'éroder la face marine des dunes littorales provoquant un repli côtier ou au contraire d'engraisser cette face par des dépôts sédimentaires et d'élargir le champ dunaire vers la mer. Le lien se fait aussi par une dynamique éolienne particulière provoquant, ici une mobilité de la dune blanche avec migration vers la terre de dunes mobiles, là une érosion par le biais d'une fragilisation de la végétation dunaire en l'absence d'une bonne gestion sous la trop forte pression touristique. Le couple plage/dune joue alors un rôle très important dans cette mobilité.

Le lien avec la terre est associé aux services rendus par les dunes littorales à la société et donc à ses usages : usages récréatifs et complémentarité économique dunes – arrière pays (attractivité du massif dunaire, impact au niveau du prix du foncier périphérique, rôle de l'intervisibilité etc.), usages écologiques et nécessité de restauration/conservation inscrites ou à inscrire sous diverses formes dans les divers documents réglementaires, usages plus pragmatiques de protection de l'arrière pays contre les agressions marines (barrière contre les inondations marines pour les terrains à l'arrière de la dune par exemple). La motivation d'évaluation de l'état des dunes littorales est donc ainsi étroitement dépendante non seulement de la nature même de l'espace dunaire en tant que tel mais aussi de ses propriétés d'interface entre la mer et la terre. Le lien avec la mer et la terre est donc intrinsèquement pris en compte dans la mise en place de la méthodologie proposée.

2.1.2. Les services rendus par les écosystèmes dunaires littoraux

Les objectifs à long terme de la gestion tels que nous les avons définis avec les gestionnaires partenaires (l'ONF) visent au maintien ou à la restauration des services écosystémiques assurés par les dunes littorales :

- Service de **PROTECTION** (qui est en référence au *Millenium Ecosystem Assessment* (2005) un service de régulation) :
 - Protection des biens et des personnes contre le risque d'ensablement
 - Modération de l'érosion marine (dans le cadre des échanges plage/dune)
 - Protection contre le risque de submersion (dunes à rôle dominant de digue)

- Service **CONSERVATION DE LA BIODIVERSITÉ** (service de soutien / support selon le MEA) :
 - Biodiversité en termes d'espèces : 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*).
 - Biodiversité en termes d'habitats : les dunes littorales sont répertoriées dans le manuel d'interprétation des habitats de l'Union européenne (version EUR 15, 1999, actuellement version EUR 25, 2003) : 2110 Dunes mobiles embryonnaires, 2120, Dunes mobiles du cordon littoral à *Ammophila arenaria* (dunes blanches), 2130 Dunes côtières fixées à végétation herbacée (dunes grises). Ces unités, présentant souvent elles-mêmes une certaine diversité sont « déclinées » en habitats élémentaires.
- Service **CULTUREL** :
 - Les dunes littorales procurent des bénéfices récréatifs, touristiques,
 - Des bénéfices esthétiques,
 - Des bénéfices culturels.

Ces services sont interreliés : ainsi par exemple à chaque état de la dune 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.

La gestion doit être multifonctionnelle et répondre de façon conjointe au maintien des différents services fournis par les dunes. Mais un choix en matière de gestion qui affecte l'un des services a un impact sur la qualité des autres services identifiés. Il faut établir en amont une hiérarchie des enjeux par un système de pondération et fixer le degré de priorité des objectifs. Cette pondération doit reposer sur une analyse des enjeux propres à chaque site.

2.1.3. La valeur et les enjeux associés au site

Il s'agit de déterminer les enjeux qui vont fonder la gestion du site. En effet si l'on inscrit la gestion dans le cadre du maintien de l'ensemble des services rendus par la dune, tous les sites dunaires n'ont pas la même valeur au regard de chacun de ces services. Il s'agit de dresser un état des lieux descriptif visant notamment à établir la valeur patrimoniale du site. Cet objectif sous-entend :

- 1) la sélection des éléments nécessaires à la détermination des enjeux : ils concernent la morphologie dunaire, les habitats et faciès, la pression humaine exercée sur le site
 - 2) la mise à disposition des données sous une forme automatisée.
- Certaines données peuvent être facilement obtenues par consultation d'un catalogue des données disponibles sur le site : celui-ci a déjà été réalisé pour les 4 sites étudiés dans ce programme (cf. § 3.1)). Nous souhaitons développer rapidement un outil de consultation interactif permettant un affichage paramétré des couches d'information :
 - localisation par rapport au littoral atlantique,
 - localisation par rapport aux cellules sédimentaires,
 - voisinage occupation du sol (situation par rapport à un zonage de type occupation du sol (Corine Land Cover)),
 - inventaires, classements en faveur du site (zonages),
 - données disponibles sur des états antérieurs de la dune : quel historique possible ?
 - modes de gestion (référence possible au Sommier des dunes établi par l'ONF par exemple ou toutes données spatialisées sur la gestion du site),
 - localisation des outils de suivi des sites (points de référence, de relevés, transects, mesures diverses).
 - D'autres données sont à créer selon une méthodologie qui fait l'objet de recherches :
 - La morphologie dunaire fine (cf. § 3.3)

- Habitats et faciès dunaires identifiés sur le site (cf. § 3.4): cartographie et extraction d'informations spatiales du type :
 - o présence / absence
 - o surface
 - o rapport largeur/longueur
 - o caractérisation spatiale de la mosaïque d'habitats
 - o voisinage
 - Pression humaine dans le site et autour du site (situation par rapport au zonage de type occupation du sol (CLC)), détection d'indicateurs de pression sur le milieu et cartographie.
- 3) Définition d'un état de référence souhaité pour le site qui tienne compte de ses caractéristiques, de ses potentialités et de son histoire (découle donc de la cartographie des paramètres ci-dessus) indépendamment de l'évaluation de son état actuel. Il s'agit donc de replacer le site observé dans un contexte plus vaste sur le plan géographique et sédimentaire, et de le situer sur une échelle de diversité géographique, écologique, paysagère de façon à définir ce que potentiellement ce site peut offrir et à cadrer les propositions de gestion.

2.2. Etape 2 : évaluation de l'état de conservation de l'écosystème dunaire

Après une évaluation du site, nous présentons la trame de la démarche d'évaluation de l'état du site, l'objectif de la gestion étant défini comme le maintien en un certain état –dit état de référence ou état souhaité - de la qualité des services rendus par les écosystèmes dunaires.

2.2.1. Définition de l'objet de l'évaluation

Il s'agit de définir l'objet de l'évaluation sur le plan sémantique et sa place dans les différents niveaux hiérarchiques d'une typologie. Ce n'est qu'ensuite que nous pourrons déterminer une procédure adéquate d'analyse et d'évaluation de cet objet et en particulier sa définition spatiale en vue d'une cartographie.

Il s'agit d'identifier des entités (objets) cohérentes en termes d'observation et d'analyse de cet état. Ces objets peuvent correspondre à des niveaux d'organisation différents, qui peuvent être emboîtés :

- unité géomorphologique (la dune en tant qu'objet morphosédimentaire),
- Habitat (comme référencé dans la typologie Corine Biotopes et Habitats Natura 2000),
- faciès de transition entre deux habitats,
- mosaïque d'habitats,
- espèces indicatrices,
- type d'occupation du sol (tel que défini dans les nomenclatures Corine Land Cover ou EUNIS) par exemple.
- ...

Le modèle est en cours d'élaboration fixant pour chaque service les objets pertinents de l'analyse ainsi que les interrelations entre ces différents objets et niveaux hiérarchiques. Il repose sur une analyse de l'écosystème dunaire en termes de structure, de processus fonctionnels, de dynamique et de liens dynamiques.

2.2.2. Définition des attributs-indicateurs d'état

C'est l'analyse des attributs de ces objets qui va permettre d'étayer le diagnostic d'état.

1) Des attributs pertinents ont été déterminés, ce sont :

- **des caractéristiques de l'objet dans un état bon/favorable** : par exemple la couverture bryolithénique sur l'objet « dune grise » est un indicateur de la stabilité du milieu et au contraire de stress environnemental (R. JUN).
- **Des facteurs de perturbation de l'objet**. La perturbation ne mène pas forcément à une dégradation, elle doit être caractérisée :
 - o Présence de
 - o Surface occupée par
 - o Densité (= intensité)

Ces facteurs de perturbations sont de différents types :

- Induits par l'occupation humaine
 - Parking
 - Dépôts divers, décharges
 - Extraction de sable
 - Voie de circulation d'engins (quads, engins militaires, etc.)
 - Activités (militaires par exemple)
 - Extraction de matériaux
 - Piétinement
- Erosion marine et éolienne
- Perturbation du couvert végétal
 - Plantation
 - Présence d'espèces envahissantes
 - Rudéralisation
 - Embroussaillage
 - Enrésinement
 - Boisement spontané
 - Due aux animaux (lapins, sangliers)

Par exemple :

Service	Objet	Attributs		Description
Protection	Dune (unité morphosédimentaire)	Formes d'érosion	Siffle-vent	➔ Localisation par rapport aux sous-unités qui définissent l'objet (front, sommet, arrière dune) ➔ Surface ➔ Forme ➔ Volume ➔ Largeur ➔ Rapport largeur/profondeur ➔ Couvert végétal (% de recouvrement) ➔ Densité des formes ➔ Voisinage
			Caoudeyre	
		Formes d'accumulation	saupoudrage	➔ Localisation par rapport aux sous-unités qui définissent l'objet (front, sommet, arrière dune) ➔ Surface ➔ Forme ➔ Couvert végétal affecté (type et % de recouvrement)
			pourrières	

- 2) Une gamme de valeurs représentatives ou indicatrices d'un certain état et stade d'évolution sur une trajectoire potentielle (limites de référence) pour les différents attributs d'un objet dont on a déterminé la résistance et la résilience doit être définie (recherche en cours) ; **l'attribut** prend à ce moment le statut **d'indicateur** d'état qu'il n'a pas en soi.

Ainsi le phénomène de *piétinement* dont les effets peuvent être un attribut à suivre dans le cadre de l'évaluation de la biodiversité peut être considéré comme favorisant un bon état en ce qu'il permet un rajeunissement du milieu, peut limiter l'expansion de certaines espèces ou au contraire favoriser la venue de certaines autres qui peuvent être des espèces rares (*Omphalodes littoralis* par exemple). Les zones piétinées ne sont un indicateur de dégradation que lorsqu'un certain seuil est franchi (rapport Fréquence Intensité) pour un objet dont la résilience et la résistance ont été évaluées.

- 3) Une méthode d'obtention des données, quantifiée et spatialisée, est associée à chaque attribut.

2.2.3. Diagnostic

L'objectif à atteindre est de développer un système expert / modèle assurant la synthèse des résultats - Question du passage de plusieurs valeurs à une valeur globale par l'agrégation de critères : Est-elle valide ? Est-elle souhaitable ? Comment la calculer ?

2.2.4. Facteur Temps : analyse des changements

L'analyse de deux sources de données (images / terrain) à des dates différentes et selon un pas de temps pertinent, permet de définir la nature du changement et la trajectoire de l'objet :

- les changements correspondent à des **fluctuations**, oscillations inhérentes à la dynamique propre du système dunaire (évolution morphologique saisonnière, liée à un épisode de type tempête par exemple) et ne sont pas les signes d'une dégradation ;
- les changements correspondent à des **successions**, ou à des **changements d'affectation** dans l'utilisation des sols pouvant compromettre la fourniture du service rendu et sa perte ;
- les changements observés situent l'état sur une trajectoire négative (vers un état défavorable).

L'analyse diachronique conduit à l'élaboration d'un scénario d'évolution.

2.2.5. Propositions de gestion

- ➔ Les objectifs à long terme ayant été définis,
 - ➔ l'évaluation patrimoniale du site et la définition des enjeux de la gestion ayant été définis,
 - ➔ l'état du site au regard des services rendus ayant été évalué,
 - ➔ un scénario d'évolution ayant été défini,
- des propositions en matière de gestion peuvent être formulées et déclinées en une série d'actions programmées et localisées en fonction du risque de dégradation déduit de l'analyse.

3. Réalisations

3.1. Construction de la base de données Multidune sur les quatre sites - test

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.

Le protocole méthodologique intègre:

- les photographies aériennes récentes (ORTHOLITTORALE 2000, BD ORTHO de l'IGN),
- des photographies aériennes antérieures
- des images hyperspectrales sur le site de la Tresson (85 Noirmoutier)
- des images satellitaires haute résolution.
- des données topographiques dont nous avons testé la pertinence (cf. §3.3)
 - o (MNT SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission* de la NASA),
 - o BD ALTI de l'IGN),
 - o Données Lidar
- des relevés de végétation géolocalisés
- des photographies terrain géolocalisées
- des évaluations,
- des cartes thématiques
- les zonages de protection

La base de données MULTIDUNE a été réalisée par Vanessa SELLIN stagiaire du Master 2 *Cartographie et gestion des espaces à fortes contraintes* de l'Université de Nantes recrutée dans le cadre de ce programme Liteau en 2008 (cf. § 7.) :

- Inventaire des données disponibles et nécessaires pour le projet
- Recherche des données manquantes
- Numérisation, géoréférencement, correction géométrique d'images, découpage et sélection des données
- Catalogage des métadonnées
- Mise en forme de la base de données et création d'une SGBDR sous Access

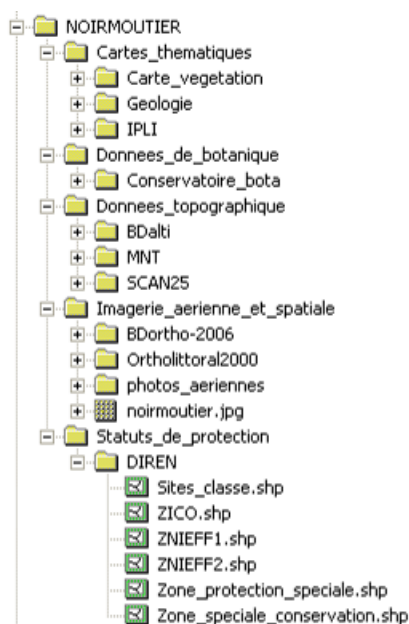
Base de données MULTIDUNE



NOM_DONNEE	carteGTM et légendeGTM
CODE_utilisation	Vegetation
CODE_type	Donnees_de_botanique
CODE_lieu	Quiberon
CODE_date	2000
CODE_auteur	Conservatoire_botanique
CODE_fournisseur	Conservatoire_botanique
CODE_format	.tab
CODE_echelle	1/25 000
CODE_droit	Non
CARACTERISTIQUES_DONNEE	Code5000,Code25000,Nom du milieu5000,Nom du milieu25000

Photo : Françoise Debaine, Juin 2008, Dune blanche de Quiberon

Formulaire de la base de données



Extrait de la BD Multidune (état provisoire)

Comme évoqué plus haut, l'objectif est de mettre au point un outil de consultation interactif de données permettant un affichage paramétré des couches d'information, et une mise à jour permanente de la base par les utilisateurs potentiels.

3.2. Campagne de relevés de végétation

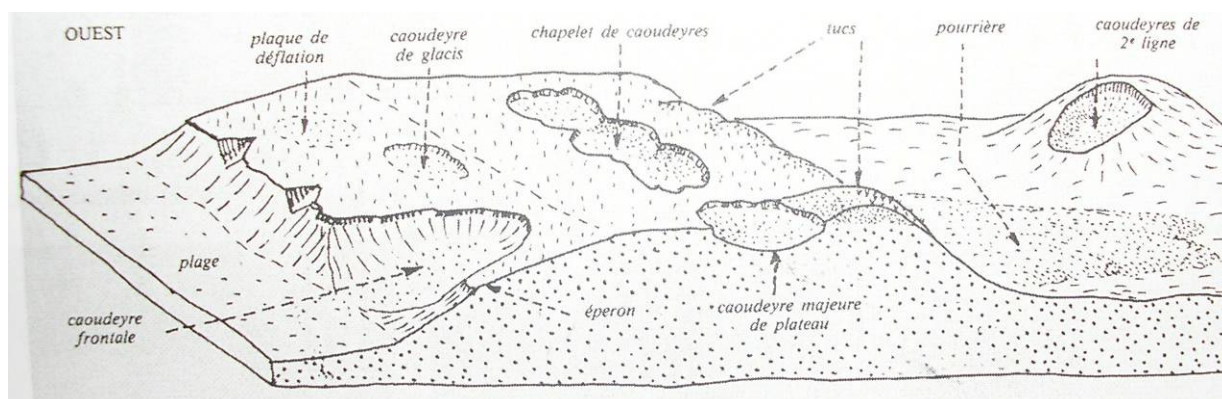


En mai 2009 : nous avons réalisé une campagne de relevés de végétation sur les 4 sites – test retenus dans ce programme selon un protocole établi par F. Rozé. Tous les relevés localisés précisément par GPS et les carrés sont photographiés, les photos terrain étant elles aussi géolocalisées.

Ces données sont en cours de traitement : saisie et analyse statistique. Elles serviront de base à notre étude et permettront d'établir une relation fiable entre les différentes échelles d'analyse : terrain, BD ortho, images satellitaires, images hyperspectrales.

3.3. Exploitation des données Lidar pour une cartographie fine de la topographie et de la morphologie dunaire et l'évaluation du service Protection

Le risque principal associé au service Protection est un risque d'érosion. D'une part **l'érosion marine**, qui intervient sur la plage et le haut de plage lors d'épisodes de tempête ; il en résulte de profondes entailles dans la dune sous la forme de brèches. Selon la dynamique morpho-sédimentaire locale, l'érosion marine aura un impact plus ou moins fort. **L'érosion éolienne** d'autre part qui se manifeste sur tout le massif dunaire sous des formes connues de plaques de déflation, siffle-vent, caoudeyre, pourrière.



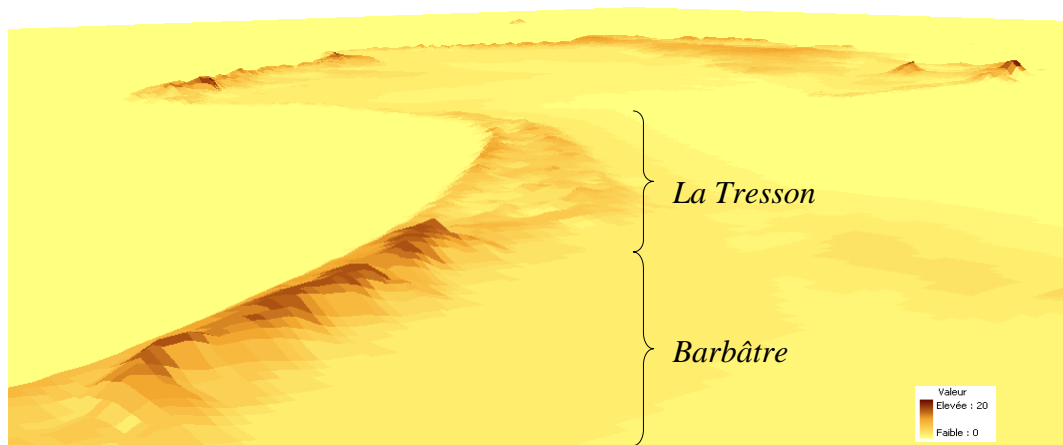
Les formes d'érosion susceptibles d'être rencontrées sur la dune. D'après P. Barrère, *Mémento technique des dunes du littoral Aquitain*, 1989

L'évaluation de l'état de la dune au regard du service Protection nécessite

- 1) l'identification des sources pertinentes pour la cartographie des indicateurs de l'érosion. Une analyse critique des données disponibles pour une cartographie fine de la morphologie dunaire a été réalisée :
 - Le Modèle numérique de terrain de la NASA, SRTM : résolution de 90 mètres
 - La BD Alti de l'IGN, résolution de 50 mètres

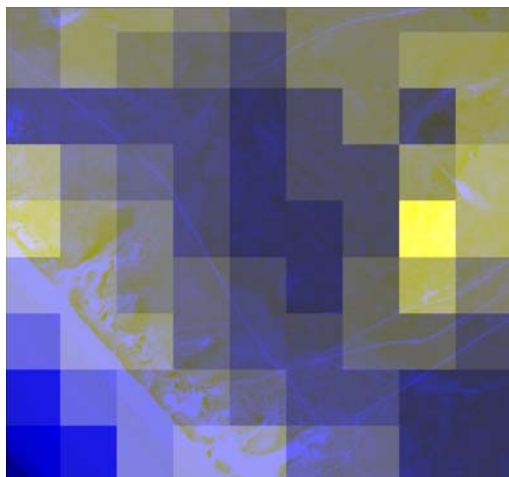
● Les données Lidar

Le but de cette étude est de connaître le niveau d'information que l'on peut tirer de ces données, au regard des différents traitements et combinaisons de traitements envisagés pour la mise en évidence, l'extraction et la mesure des objets reconnus comme pertinents pour une évaluation du service protection.



Noirmoutier Vue 3D Dunes de la Tresson et Barbâtre - BD Alti IGN

La résolution de la BD Alti et à fortiori du des données SRTM sont incompatibles avec les objectifs fixés comme le montre la figure ci-dessous

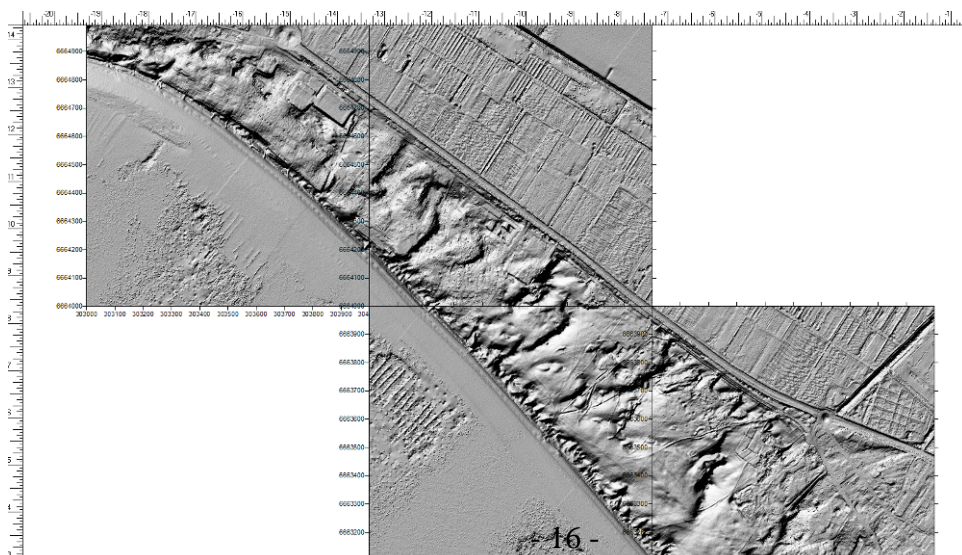


Superposition de la BD ortho et du MNT de l'IGN

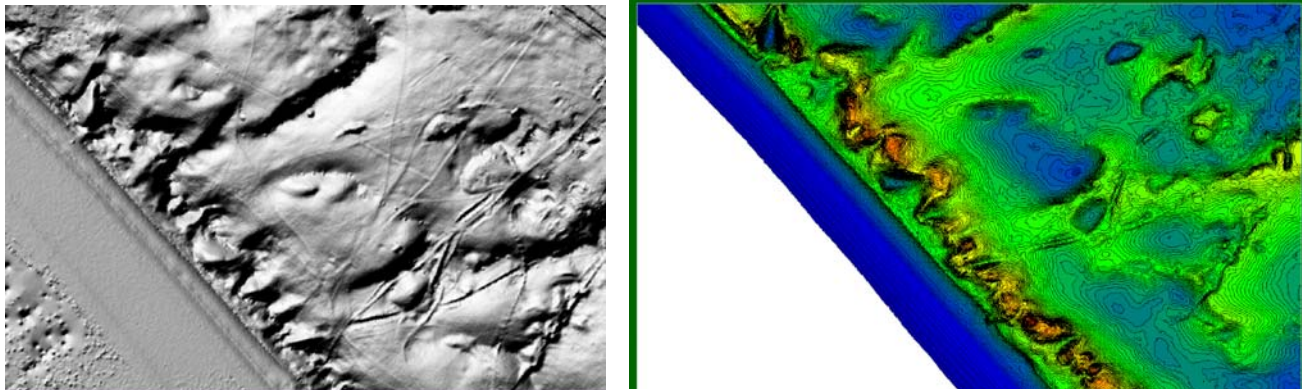
Sur cette image est représentée la dune en arrière plan (BD ortho IGN, pas de 50 cm) avec le MNT de l'IGN (pas de 50 m) en transparence par-dessus. L'objet « caoudeyre » est ici impossible à mettre en évidence, de même que les différences d'altitudes représentées par un dégradé de couleur (du jaune au bleu).

Nous estimons donc qu'une cartographie fine des indicateurs d'état du service Protection ne peut être réalisée à l'heure actuelle qu'à partir des données Lidar (*Light Detection and Ranging*) qui fournissent des données d'une précision de 15 cm.

Nous avons pu disposer de données Lidar sur la dunes de la Tresson Noirmoutier :

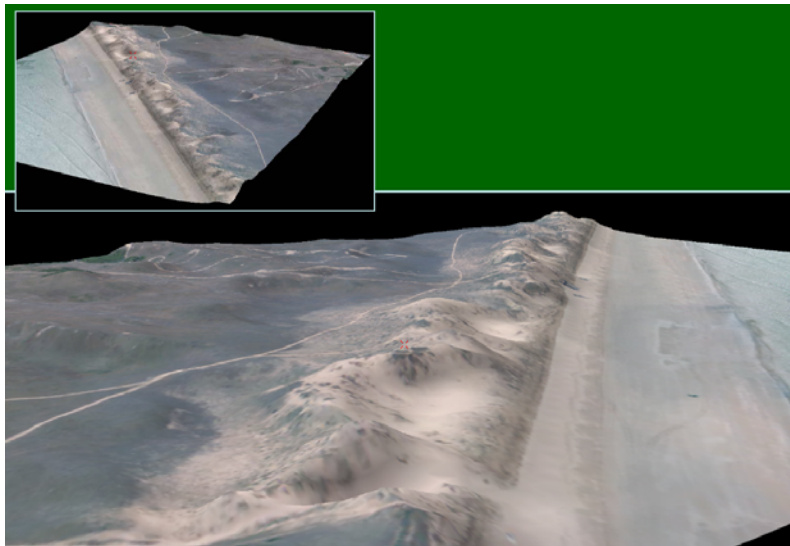


4 dalles sont représentées



Différentes représentations de la topographie : 3D avec ombrage et courbes de niveaux :

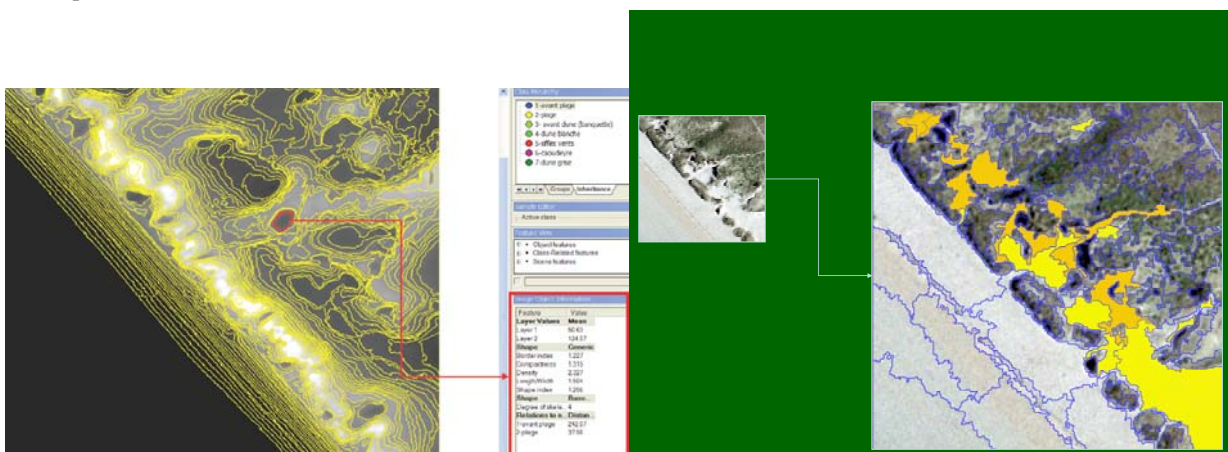
Les attributs des objets que nous considérons comme descripteurs sont mesurables. La résolution des données est parfaitement compatible avec celle des orthophotos et autres images haute résolution spatiale :



Vue 3D : La BD ortho IGN est drapée sur le MNT Lidar

L'analyse de ces données selon le protocole établi est en cours :

- identification des objets sur l'image Lidar par l'Analyse d'images Orientée Objet,
- extraction des objets (segmentation multi-résolution)
- mesures des paramètres descripteurs (altitude moyenne, indice de forme, compacité, Longueur/largeur, densité, indice de bordure et relations au voisinage).
-



3.4. Cartographie de la végétation – évaluation du service Biodiversité

Le service Biodiversité s'exprime en termes d'espèces (richesse floristique et diversité floristique) et au niveau écosystémique (richesse en nombre d'habitats, diversité des habitats et faciès). La dégradation du service est manifeste dès lors que l'on peut mesurer :

- une perte au niveau de la richesse floristique (disparition d'espèces),
- une perte au niveau de la diversité floristique,
- la simplification des habitats,
- la fragmentation,
- une succession / changement d'affectation,
- l'intensité des facteurs de perturbation

L'évaluation de ce service n'est possible que si l'on dispose de données spatialisées sur la végétation. Les données images haute résolution spatiale sont utilisées, celle-ci compensant en partie leur faible résolution spectrale. Elles permettent une analyse au niveau du paysage végétal et de sa structure spatiale mais ne permettent pas d'atteindre le niveau de différenciation des espèces ou association d'espèces. Elles sont par ailleurs utilisées pour l'analyse diachronique de la végétation.

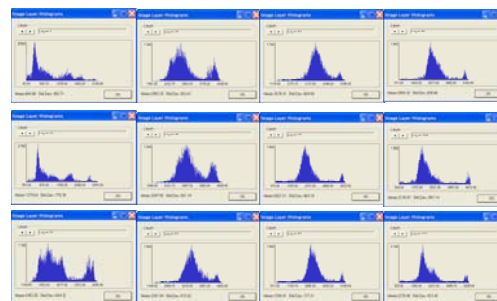


Dune de la Tresson (Noirmoutier, 85)



Nous disposons de données **hyperspectrales** sur la dune de Noirmoutier.

Un survol a été effectué en septembre 2009 et des données terrain relevées au même moment. Nous allons tester l'utilisation de ces données très haute résolution spatiale (50 cm) et très haute résolution spectrale (126 bandes) pour réaliser une cartographie de la végétation dunaire au niveau des associations végétales et si possible de l'espèce pour mettre en évidence et extraire les attributs reconnus comme descripteurs de l'état du service.



Données hymap

3.5. L'enrésinement de dune grise (La Pointe d'Arçay)

L'enrésinement est la présence de résineux (plantation ou dissémination naturelle) sur les dunes grises. Il peut être considéré à partir d'un certain seuil comme un facteur de dégradation de cet habitat (cf. § 2.2.2)

Enrésinement		
Service concerné	Biodiversité	
Objet	Dune grise	
Perturbation observée	Enrésinement = présence de résineux (plantations ou dissémination naturelle) sur les dunes grises (dunes côtières fixées à végétation herbacée)	
Définition du risque	Dégradation par modification des sols Simplification de l'habitat et à terme succession Modification paysagère : uniformisation	
Causes	Dissémination naturelle à partir des plantations	
Niveau de détail utile	50 cm	
Sources	orthophotographies	
Méthode	Approche orientée objet	
Données produites	Intensité de la dégradation (critère spatial)	Cartographie % surfaces couvertes par les arbres
	Rapidité d'évolution (critère temporel)	Mesure à différentes dates
Déduction en termes d'évaluation de l'état	Evolution entre deux dates : rythme et intensité du phénomène : Dégradation avérée en fonction des surfaces couvertes par les résineux par rapport à a surface de l'objet dune grise évalué : Selon source Conservatoire National Botanique Brest : <ul style="list-style-type: none"> si >20% surface totale de l'unité cartographiée : dégradation fort de 5 à 20% de la surface totale de l'unité cartographiée : dégradation faible à moyenne. Situation par rapport à une évolution-type : prédiction	
Caractère opérationnel pour la gestion	Prise en compte des orientations de gestion à long terme Prise en compte du scénario d'évolution Prise en compte des autres menaces sur le service Et choix d'un type d'intervention ou de non intervention	



Nous avons réalisé la cartographie du couvert de pins maritimes sur la dune grise de l'un de nos sites – test, la Pointe d'Arçay (La Faute-sur-Mer, 85) à partir de la photographie aérienne de 2006 (BD Ortho IGN) et réalisé une étude diachronique de l'évolution de l'enrésinement depuis 1945 à partir de photographies aériennes anciennes, que nous avons numérisées puis corrigées en géométrie. Ce document ainsi que les données dérivées de la cartographie sont intégrés au Plan de Gestion élaboré par l'ONF, gestionnaire de la Réserve de chasse et de faune sauvage de la Pointe d'Arçay.

	Progression surfaces couvertes par les pins m²/an
Période 1945-1987 (42 ans)	642
Période 1987-2006 (19 ans)	1210.5

Année d'observation / mesure (d'après les photographies aériennes)	Extension nette de la surface terrestre mesurée / date (ha)	Extension cumulée de la surface terrestre entre limite du boisement en 1945 et TC /date (ha)	Extension nette de la surface couverte par les Pins au-delà de la limite du boisement en 1945 / date (ha)	Extension cumulée de la surface couverte par les Pins au-delà de la limite du boisement en 1945 / date (ha)
1945	0	12.1	0	0
1987	7.4	19.5	2.7	2.7
2006	16.5	36	2.3	5

4. Animation, réunions du comité de suivi

L'association entre scientifiques et gestionnaires, partenaires directs ou indirects, utilisateurs potentiels des résultats obtenus, s'est parfaitement déroulée tout au long de cette première période de la réalisation du projet, selon un rythme régulier :

4.1. Réunions du comité de suivi

Composition : F. Debaine (LETG, Univ. Nantes), M. Robin (LETG, Univ. Nantes), F. Rozé (Ecobio, Univ. Rennes 1), L. Gouguet (ONF), J. Favennec (ONF) :

- **10 janvier 2008 à Nantes** – Laboratoire Géolittomer – Lancement du programme
- **31 mars 2008 Noirmoutier** (Réunion en salle et échanges sur le terrain) en présence de
 - Marie-Claire Prat (Directrice EUCC France),
 - Jade Isidore (Conservatoire du Littoral),
 - X. Lafon et Y. Henocque (CS du programme Liteau)
- **12 juin 2008 Quiberon – Erdeven** Réunion en salle et échanges sur le terrain en présence de :
 - Jade Isidore,
 - Emmanuelle ELOUARD (responsable Natura 2000 Quiberon-Plouharnel),
 - Armelle HELOU (Syndicat Mixte Grand Site Gâvres Quiberon),
 - Sylvie MAGNANON (Directrice scientifique Missions Conservatoire Botanique National de Brest)
- **16 décembre 2008 à Nantes** (Laboratoire Géolittomer) : Point sur l'état d'avancement du programme

4.2. Colloque Liteau 2 et 3 mars 2008 - Oléron : Participation F. Debaine et L. Gouguet (ONF)

4.3. Terrain

- Participation de F. Debaine et V. Sellin (stagiaire M2) à une tournée d'observation des dunes de Vendée organisée par l'ONF (J. Favennec, L. Gouguet et les techniciens chargés du suivi et de l'entretien des dunes) : Dunes de Noirmoutier (10 mars 2008) et Dunes d'Olonne (12 mars 2008).
- La Pointe d'Arçay, Réserve de Chasse et de Faune sauvage (La Faute sur Mer, 85) : 27 juin 2008. Echanges sur le terrain : F. Debaine, F. Rozé, L. Gouguet, V. Sellin
- Relevés de végétation : 10 jours de terrain pour effectuer des relevés de végétation sur les 4 sites d'étude en mai 2009. F. Rozé et F. Debaine.

4.4. Echange avec d'autres équipes européennes : Tournée MULTIDUNE aux Pays-bas et en Belgique (26-29 mai 2009)

L'équipe Multidune s'est rendue en Belgique et aux Pays-Bas en mai 2009 à l'initiative de Loïc Gouguet (ONF). L'objectif était de rencontrer des scientifiques et des gestionnaires en charge des dunes littorales. Les échanges extrêmement fructueux (exposés en petit comité et sorties sur le terrain) nous ont permis de comparer les problématiques de gestion et les approches scientifiques.

- Schoorl (NL), Staatsbosbeheer (Service Forestier d'Etat) Rencontre de Hans Wondergem. Le Service forestier s'est donné en 2000 la mission d'évaluer et de cartographier les oiseaux et la végétation sur les terrains qu'il gère, pour planifier la gestion. Expériences autour de l'augmentation de la biodiversité.

- Amsterdam Water Supply (AWS) (NL). Rencontre de Luc Geelen, Bas Harens, Antje Ehrenburg. La ville d'Amsterdam, par le biais d'AWS, utilise les dunes pour stocker et produire de l'eau potable. Les gestionnaires des dunes d'AWS ont identifié deux problématiques : la disparition des zones humides (asséchées par le pompage de l'eau) et la présence d'espèces invasives (explosion de *Prunus serotina* à partir des années 1980).



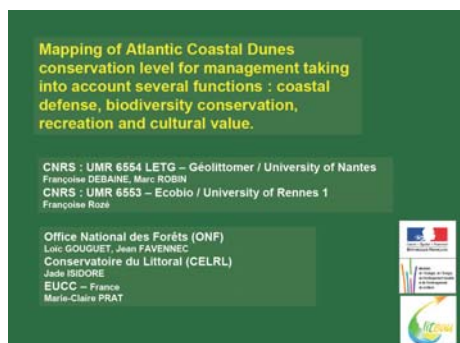
- Agence Flamande Nature et Forêts (B). Rencontre de Jean Louis Herrier, Marc Leten naturaliste, Sam Provoost (Instituut voor Natuur)
 - Site du ZWIN: site transfrontalier (en limite avec les Pays Bas). Projet ZENO : dépollérisation.
 - Site de la Petite Plaine: restauration des milieux pour retrouver des espèces dunaires patrimoniales, essentiellement des espèces de zones humides (Orchis morio), et recréation d'étang pour favoriser la recolonisation par le triton crêté et la rainette.
 - Embouchure de l'Yser: restauration de zones de pré salés et zone de stationnement pour oiseaux d'eau.
 - Groenendijk (la digue verte) : restauration
 - Oostvoorduin: Déboisement organisé à partir de 2003 (projet Life Feydra) sur 6 ha. Suivis précis: carte de végétation, suivis GPS des espèces patrimoniales.
 - Massif dunaire de Ter Yde situé sur une des embouchures W de l'Yser. Mise en place de formes de gestion pour contrôler l'embroussaillage par les saules (pâturages par moutons et poneys Shetland).

Les scientifiques et gestionnaires rencontrés participeront au colloque de restitution du programme.

5. Bilan financier : le niveau d'utilisation des fonds (par grands postes).

Crédit Géolittomer		79 000.00 €	
Equipement	Matériel	12 679.60 €	
	Matériel + frais de laboratoire	1 761.68 €	
Fonctionnement	Réunions du Comité de suivi	686.19 €	
	Terrain et voyage Pays-Bas, Belgique	637.60 €	
	Stage M2 PRO (5 mois) gratification	1 819.20 €	
Total débit		17 584.27 €	22 % de la subvention
Solde		61 415.73 €	

6. Valorisation



Peu d'opérations de valorisation au cours de cette 1^{ère} période, le programme étant en cours de réalisation. On peut citer cependant diverses présentations de la problématique et des premières réalisations notamment auprès des gestionnaires et scientifiques belges et néerlandais rencontrés lors du voyage d'étude réalisé en mai 2009 (cf. § 4.)

7. Stage Master 2 Pro

Université de Nantes
Faculté des Sciences et techniques & IGARUN
Master II professionnel
"Cartographie et gestion des espaces à fortes contraintes"
Sellin Vanessa



Contribution à la cartographie de l'état
des dunes littorales atlantiques

Maître de stage : Françoise Debaine,
Maître de conférence au laboratoire Géolittomer

ANNEE 2007-2008

Vanessa Sellin a réalisé son stage de Master 2 Professionnel « *Cartographie et gestion des espaces à fortes contraintes* » au Laboratoire Géolittomer de février à juin 2008. Elle a contribué à la construction de la Base de données Multidune, et a procédé à divers tests méthodologiques pour la cartographie de la végétation à partir des orthophotographies et à l'aide de l'analyse d'images orientée-objet. Elle a participé à toutes les réunions et sorties-terrain organisées pendant son stage. Son jury était composé de P. Launeau (Université de Nantes, STUE), L. Gouguet (ONF), M. Robin (rapport écrit) et F. Debaine, maître de stage. Elle a obtenu la mention TB et la note de 18/20.

Annexe : Textes des publications

Publications scientifiques parues

Publications scientifiques à paraître

Publications scientifiques prévues

Des publications sont envisagées dans diverses revues :

- *Journal of Coastal Conservation* : synthèse sur la méthode et les résultats du programme
- *Journal of Coastal Research* : exploitation des données Lidar / Morphologie dunaire / service Protection
- *International of Remote Sensing* : exploitation des données hyperspectrales pour la cartographie de la végétation dunaire
- *Landscape Ecology* : cartographie de la végétation dunaire / télédétection

Annexe : partie confidentielle

Vous pouvez insérer ici toute information ou résultat qui revêt une part de confidentialité.

Merci de préciser le degré de confidentialité de ces données.

Nous vous recommandons de préciser dans la partie non confidentielle l'existence de ces données confidentielle et d'expliquer la raison de leur confidentialité.

Cette partie ne sera pas diffusée sur le site Internet du Ministère.

Cette partie peut être rendue sous forme non modifiable (fichier pdf de préférence).

Son format est laissé à la libre appréciation de ses rédacteurs.