

CPER 2007 – 2013

Gérer durablement le Littoral - Etudes stratégiques et prospectives sur l'évolution des risques littoraux

MODULE 2 : STRATEGIES D'ADAPTATION

ACTION 1 – RETOUR SUR LES PRATIQUES D'AMENAGEMENT

Inventaire et évaluation des écosystèmes dunaires et des aménagements de protection douce sur le littoral du Languedoc-Roussillon

Phase 1 : Synthèse bibliographique et mise en place d'une méthodologie d'évaluation



Opération soutenue par l'État

Fonds National d'Aménagement et de Développement du Territoire

Opération soutenue par la Région Languedoc-Roussillon

Sommaire

I. Introduction	3
II. Recherche et traitement des données existantes	3
A. Caractérisation des dunes du Languedoc-Roussillon	3
1. Description des conditions écologiques des dunes du Languedoc-Roussillon.....	4
2. Description des principaux habitats naturels présents sur les dunes du Languedoc-Roussillon	4
3. Variations de végétation le long du littoral régional.....	11
B. Caractérisation des ouvrages de protection dunaire	13
1. Reconstitution des dunes côtières.....	13
2. Restauration dunaire.....	15
3. Stabilisation	17
4. Aide à la végétalisation	18
5. Gestion de la fréquentation en milieu dunaire.....	22
III. Méthodologies d'évaluation	24
A. Méthodologie d'évaluation des systèmes dunaires	24
1. Définition préalable aux évaluations	24
2. La démarche d'évaluation et la phase de sélection des indicateurs	25
3. Elaboration de la grille d'évaluation de l'état de conservation du milieu	26
4. Elaboration de la grille d'évaluation de la valeur patrimoniale.....	30
B. Méthodologie d'évaluation des aménagements de protection	35
1. Définition préalable des ouvrages dunaires évalués	35
2. Évaluation de l'état des aménagements	36
3. Évaluation de l'efficacité des aménagements	37
4. Évaluation de la pertinence des aménagements.....	38
IV. Glossaire	40
V. bibliographie	41
VI. Table des figures	47

I. INTRODUCTION

Les dunes constituent un habitat naturel primordial pour la protection des zones côtières. Développées par accrétion, elles permettent de stocker le sable dans la zone littorale active, sable qui pourra être ensuite rendu au système, elles tamponnent ainsi l'action érosive de la mer (Moulis et Barbel, 1999). En plus de leur fonction paysagère et de leur fonction d'habitat pour de nombreuses espèces végétales et animales (arthropodes, gastéropodes, reptiles...) les formations dunaires permettent également de protéger les terres et les infrastructures humaines (Paskoff, 1998). Mais les actions directes et indirectes de l'homme modifient l'agencement originel des dunes (Corre, 1971). Des impacts même à faible intensité perturbent la végétation dunaire, interfèrent avec le fonctionnement de ce système rétenteur et accélèrent de ce fait l'érosion.

Afin de protéger les systèmes sableux littoraux, des opérations basées sur le génie écologique sont mises en œuvre. Elles visent à restaurer ces systèmes et à les renforcer pour lutter contre les agressions naturelles et anthropiques. Ces protections douces ont un rôle particulièrement important sur les littoraux très fréquentés du Languedoc-Roussillon

L'objet de la phase 1 est de mettre en place des outils d'évaluation de l'état de conservation des systèmes dunaires, ainsi que des ouvrages mis en œuvre pour protéger ou reconstituer ces systèmes.

II. RECHERCHE ET TRAITEMENT DES DONNEES EXISTANTES

La synthèse bibliographique a permis de caractériser des associations végétales différentes le long du littoral régional. Une synthèse des types d'aménagements de protection douce a également été réalisée.

A. Caractérisation des dunes du Languedoc-Roussillon

Les littoraux sont des milieux à fortes contraintes écologiques caractérisés par une flore et une faune remarquables. Cette flore extrêmement spécialisée est très diversifiée, pour la surface relativement faible que les espaces littoraux occupent (6% de la flore métropolitaine sur un millième du territoire national).

Le linéaire côtier du Languedoc-Roussillon est principalement constitué d'un lido sableux, langue de sable isolant la mer des lagunes, interrompu ponctuellement par des promontoires rocheux : Sète, Agde, Leucate et finissant au sud par une côte rocheuse (la côte Vermeille). Moins spectaculaires que les formations dunaires atlantiques, les cordons dunaires du Languedoc-Roussillon n'en présentent pas moins d'intérêt et de diversité : la majorité de la flore littorale française est liée aux systèmes dunaires et 43 % se retrouve uniquement sur le littoral méditerranéen.

Les activités humaines ont modelé l'environnement côtier méditerranéen depuis des millénaires, mais les pressions anthropiques ont dramatiquement augmenté ces cinquante dernières années. Avant 1960, les dunes du Golfe du Lion s'étendaient sur 230 km de manière quasi continue, elles ont été considérablement fragmentées ou détruites depuis, principalement par l'urbanisation et l'augmentation de la fréquentation touristique estivale (entraînant piétinement, pollutions et introduction d'espèces invasives). A ces pressions anthropiques se combine le processus naturel de régression du trait de côte, induisant une protection nécessaire de ces milieux littoraux. Cette protection des littoraux sableux est d'autant plus indispensable en Languedoc-Roussillon que la fragilité naturelle de la végétation y est accentuée par l'aridité du climat en été.

1. Description des conditions écologiques des dunes du Languedoc-Roussillon

La dynamique naturelle typique des systèmes littoraux languedociens est conditionnée par la dominance de vents de terre forts, à laquelle s'ajoute un système microtidal et une fréquence faible des fortes tempêtes (Heurtefeux et Richard, 2005).

Les parties émergées des littoraux languedociens sont soumises à une action éolienne érosive, résultat de la fréquence et de l'intensité des vents de terre (Tramontane et Mistral), entraînant un transfert important des sédiments de la plage vers la mer, que seule une dune en bon état permet de réduire. La largeur des plages est généralement insuffisante pour permettre aux vents de les recharger en sable. Ce sont les petites houles des tempêtes qui rechargent le haut de plage en sable. Cependant certaines tempêtes exceptionnelles qui attaquent le littoral du Golfe du Lion, souvent de manière oblique (orientation sud, sud-est), peuvent générer une érosion importante sur la plage et la dune. En conséquence, les cordons dunaires languedociens sont caractérisés par une altitude faible, une position parallèle au trait de côte et une faible pente du revers (adaptation à l'exposition aux vents violents dominants, Heurtefeux et Richard, 2005).

Les sédiments constituant les littoraux languedociens sont majoritairement des sables et exceptionnellement des galets d'origine rhodanienne qui, transportés vers l'ouest du Golfe du Lion par les courants de dérive, s'enrichissent progressivement en apports sédimentaires des petits fleuves côtiers (Bournérias et al., 1992).

2. Description des principaux habitats naturels présents sur les dunes du Languedoc-Roussillon

Les processus de formation des dunes correspondent à l'accumulation de ces sédiments en arrière plage, principalement grâce à la végétation. Les contraintes climatiques fortes : faible pluviométrie annuelle et sécheresse estivale prolongée, régissent le développement et la composition spécifique des espèces colonisant les milieux dunaires méditerranéens (Corre, 1984).

Lorsque l'on parcourt un cordon dunaire depuis la mer vers l'intérieur des terres, plusieurs habitats naturels se différencient. Cet étagement de végétation est fonction des conditions climatiques et édaphiques locales : degré d'évolution et de stabilisation du substrat, humidité et teneur en chlorure de sodium des sables, influence des embruns et des apports de sable par les vents marins et circulation de l'eau dans la dune.

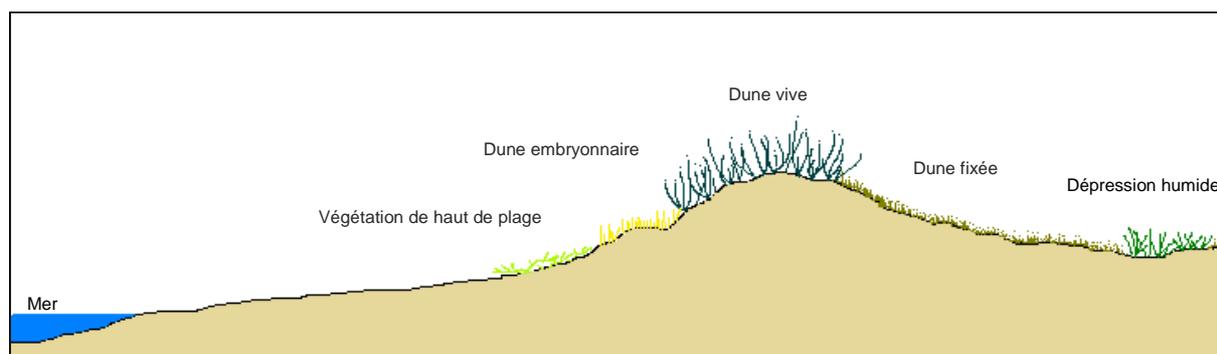


Figure 1 : Coupe schématique type d'une dune littorale dans le Languedoc

➤ Végétation de haut de plage

Le sable prélevé sur la plage se dépose en haut de plage où il se mélange à la laisse de mer* et s'enrichit en matière organique.

* Les termes marqués d'un astérisque seront définis dans le glossaire

Quelques plantes annuelles adaptées à la forte salinité du substrat s'y développent : *Cakile maritima*, *Salsola kali*, *Euphorbia peplis* (espèce protégée nationalement, annexe 2) et *Polygonum maritimum*, formant l'association **Salsolo kali-Cakiletum aegyptiacae**. Excepté *Polygonum maritimum*, ces espèces disparaissent pendant l'hiver.

La physionomie de cet habitat correspond à une végétation basse ouverte à une seule strate à développement linéaire et discontinu. (Bensettiti et al., 2004).



Figure 2 : Photographie de végétation de haut de plage (Vendres, 34)

➤ Dune embryonnaire

Légèrement en arrière apparaissent d'autres espèces végétales pionnières, des espèces vivaces géophytes* qui permettent l'accumulation puis le maintien du sable grâce à leur système racinaire (*Elymus farctus*, *Sporobolus pungens*, *Cyperus capitatus*, *Euphorbia paralias*, *Eryngium maritimum* et *Echinophora spinosa*). Ainsi sont formés les premiers bourrelets qui constituent les dunes embryonnaires. Le recouvrement végétal* de cet habitat est naturellement faible (au maximum de 40 %), le sable y est constamment remanié par le vent (Corre, 1984). Toutes ces espèces forment l'association **Echinophoro spinosae-Elymetum farcti** (également **Agropyretum mediterraneum** dans la littérature, Bissardon et al., 1997). En permettant l'accumulation de sable, elles entraînent le relèvement progressif du substrat et donc une diminution de sa salinité (Jolinon, 1983). La physionomie de cet habitat correspond à une végétation herbacée basse à moyenne, ouverte, à une seule strate de végétation et à recouvrement naturellement faible (Bensettiti et al., 2004).



Figure 3 : Photographie de dune embryonnaire (Agde, 34)

➤ Dune vive

Cet habitat présente la topographie la plus élevée du cordon dunaire. Ce relèvement du substrat s'accompagne d'une modification des nappes d'eau souterraines. Sous le sable de la plage, l'eau de mer s'infiltre et forme une nappe salée vers l'intérieur des terres. Lors de précipitations, l'eau de pluie s'infiltre à travers le sable et se superpose à la nappe salée puisque sa densité est moindre. Cette eau douce remonte ensuite par capillarité, humecte le sable et s'évapore sauf au niveau de la dune vive, trop haute pour que l'eau infiltrée remonte jusqu'à la surface (Corre, 1984). L'eau douce s'accumule, formant ainsi une lentille d'eau douce.

Des plantes moins tolérantes à un taux élevé de sel vont pouvoir se développer et un second habitat, la dune vive, est formé. Son recouvrement végétal peut atteindre 75 %. L'Oyat (*Ammophila arenaria* sp. *australis*), principale édifiatrice dunaire, en est l'espèce caractéristique et forme l'association **Ammophiletum**. Elle est caractérisée par la dominance de *Echinophora spinosa*, *Medicago marina* et *Calystegia soldanella* (Jolinon, 1983). Caractéristiques de l'alliance, on trouve aussi *Anthemis maritima*, *Euphorbia paralias* et *Eryngium maritimum*. A ce stade de développement, le substrat n'est toujours pas stabilisé et le sable continue à s'accumuler, l'association **Echinophoro spinosae-Ammophiletum australis** (Géhu et Bournique, 1989) ainsi formée permet une élévation du cordon sableux allant parfois jusqu'à 10 m de hauteur et 20 m de large au maximum en Languedoc (Moulis et al., 2001). La physionomie de cet habitat correspond à une végétation herbacée moyenne, ouverte, à une seule strate de végétation et à recouvrement naturellement faible (Bensettiti et al., 2004).



Figure 4 : Photographies de dune vive (à gauche : Grau-du-Roi, 30, à droite : Sérignan, 34)

➤ Dune fixée

En arrière du cordon, à l'abri de l'ensablement et des incursions marines (Lahondère 1990), une végétation plus variée s'installe, domaine du **Crucianellion maritimae** qui se développe à la jonction des dunes légèrement mobiles et des dunes totalement fixées. De distribution ouest méditerranéenne, il présente plusieurs combinaisons floristiques différentes : le **Crucianelletum** languedocien est bien différencié par des espèces comme *Malcomia littorea* et *Anthemis maritima* formant le **Malcomio littoreae-Crucianelletum maritimae** (Géhu et Bournique, 1989). A ce stade la dune est semi-fixée on y retrouve des espèces de dune vive comme *Matthiola sinuata*, puis le substrat va progressivement s'enrichir en espèces et en matière organique, alors le recouvrement végétal augmente (Jolinon, 1983). *Crucianella maritima* correspond au premier stade de fixation du sable, plus en arrière l'espèce régresse au profit de *Helichrysum stoechas* formant le **Malcomio littoreae-Helichrysetum stoechadis** (Géhu et Bournique, 1989). On observe principalement deux variantes de cette association : un faciès à *Artemisia campestris* sp. *glutinosa* et en arrière dune, un faciès à *Teucrium polium* accompagné de *Thymus vulgaris*.

Enfin le **Malcomio littoreae-Ephedretum distachyae** représente l'arrière dune à *Ephedra distachya*, où les cryptogames prennent une place importante. La présence de ce tapis bryophytique et lichénique constitué essentiellement de *Bryum capillare*, *Tortella flavovirens* et du lichen *Xanthoria parietina* (Harant et Jarry, 1974) indique une bonne fixation dunaire. La

physionomie de cet habitat correspond à une végétation chamépytique associée à des herbacées, semi-ouverte à une seule strate de végétation (Bensettiti et al., 2004).

Au sein des groupements de dune fixée à *Ephedra distachya*, les dunes à pelouses du **Malcolmietalia ramosissimae** peuvent se développer sur le littoral du Roussillon. Ces pelouses sont caractéristiques du littoral méditerranéen chaud, elles sont constituées d'espèces annuelles sabulicoles qui colonisent les sables grossiers en arrière du lido. Le substrat sableux à cet endroit devient rapidement très sec en été. Les espèces végétales caractéristiques de l'habitat sont : *Malcolmia nana*, *Malcolmia ramosissima*, *Echium arenarium*, *Pseudorlaya pumila*, *Erodium lebelli* sp marucci, *Jasione montana*, *Paronychia argentea*, et *Corrigiola telephiifolia*,

Enfin, la présence d'une pelouse dominée par *Lagurus ovatus* et *Vulpia fasciculata* révèle la présence de perturbations. Cette pelouse colonise principalement les sentiers sauvages en arrière dune et les zones de transition entre les dépressions humides et le **Plantaginion** ou la dune fixée. Ce groupement : **Laguro ovati-Vulpion fasciculatae**, correspond aux communautés des dunes méditerranéennes altérées (Bardat et al., 2004).



Figure 5 : Photographie d'une dune fixée (Sète, 34)

➤ Arrière dune à **Juniperus**

Cet habitat correspond à une végétation thermoméditerranéenne qui se développe sur un substrat sableux très filtrant, plus ou moins mobilisable par le vent. Il peut correspondre à un maquis littoral parfois très dense, dont la hauteur peut atteindre 3 à 4 m, voire 5 à 6 m, et à recouvrement très important en raison de la ramification importante dès la base des pieds. La végétation peut parfois présenter deux strates : une basse et une moyenne (Bensettiti et al., 2004). Dans les sites les plus exposés aux vents et aux embruns, on peut constater d'importantes anémomorphoses. Les espèces caractéristiques de cet habitat sont *Juniperus phoenicea* sp turbinata, *Asparagus acutifolius*, *Pistachia lenticus*, *Arbutus unedo* et *Quercus ilex*, formant l'alliance **Juniperion turbinatae**.



Figure 6 : Photographie d'une arrière dune à *Juniperus phoenicea* (Grau-du-Roi, 30)

➤ Arrière dune à *Pinus pinea/pinaster*

Ce type d'habitat correspond à une colonisation de l'arrière dune par des pins thermophiles, correspondant à des faciès de substitution ou à des stades climaciques stationnels d'origine anthropique de la chênaie verte. Il inclut également les plantations anciennes avec un sous bois semblable aux communautés climaciques, dans l'aire de répartition naturelle de ces pins. D'un point de vue phytosociologique, cet habitat correspond à la même alliance que l'arrière dune à *Juniperus*, à savoir ***Juniperion turbinatae***. On observe donc le même cortège floristique pour ces deux habitats. La physionomie de cet habitat correspond à des formations boisées dominées par des peuplements de pins plus ou moins ouvertes et clairsemées, avec la présence d'une strate arbustive à genévrier et d'une strate herbacée limitée (Bensettiti et *al.*, 2004).



Figure 7 : Photographies d'arrière dune à pins (Grau-du-Roi, 30)

Certains habitats ne font pas strictement partie du système dunaire mais peuvent être observés en limite d'habitat ou bien sous forme de patchs au sein des habitats dunaires. Les végétations de prés salées méditerranéennes de haut et de bas niveaux, les steppes à *Limonium*, les bas marais dunaires correspondent dans de nombreux sites à ce cas de figure.

➤ Dépressions humides

En recul dans la dune fixée, on peut observer des dépressions humides en alternance avec les zones du **Crucianellion** en position topographiquement plus élevée. Ces dépressions humides correspondent à la végétation des prés salés méditerranéens : **Juncion maritimi** à *Juncus maritimus* et *Juncus acutus* (Bissardon et al., 1997). Les ceintures de végétation de la dune se répartissent donc selon un gradient : végétation du cordon dunaire sous influence de la nappe d'eau douce, milieux de transition alternativement sous l'influence de la nappe salée puis des émergences des lentilles d'eau douce sous-dunaires et végétation des dépressions d'arrière dune influencée principalement par la remontée capillaire des eaux de la nappe salée d'origine marine (Corre, 1971). L'habitat pré salé est typique des zones humides en arrière du cordon dunaire ; selon la topographie du terrain, les remontées de sel sont plus ou moins importantes et entraînent des différences dans la répartition des espèces (par exemple dans les zones moins salées, on peut voir le développement de *Limonium narbonense*).

Le **Plantaginion crassifoliae** entoure ces dépressions périodiquement inondées, il correspond aux formations halo-psammophiles, plus sèches au pied des dunes. On y retrouve *Plantago crassifolia*, *Parapholis filiformis* et des faciès monospécifique à *Spartina versicolor*. Au niveau des zones de transition entre la dune et les sansouïres* ou dépressions humides, le **Scirpion maritimi**, végétation à scirpes halophiles (code CORINE 53.17) prend place, composée de *Scirpus holoschoenus* et *Imperata cylindrica*. La physionomie de cet habitat correspond à une végétation herbacée moyenne à haute dominée par les Joncacées (Bensettiti et al., 2004).



Figure 8 : Photographie d'une dépression humide (Leucate, 11)

Les steppes à *Limonium* correspondent à une association typique des côtes méditerranéennes, riches en espèces pérennes (*Limonium* sp), sur sol temporairement envahi (mais non inondés) par l'eau salée et exposé à une sécheresse estivale. Les principales espèces présentes sont *Plantago crassifolia*, *Artemisia caerulescens*, *Aeluropus littoralis*, *Inula critmoides*, *Limonium virgatum*, *Limonium bellidifolium*, et *Limonium girardianum*. On peut retrouver cet habitat en arrière des cordons dunaires sur certains sites, mais peut également être présent au sein même de dunes fixées.

	Végétation de haut de plage	Dune embryonnaire	Dune vive
Typologie CORINE biotope	Groupements annuels des plages de sable	Dunes embryonnaires méditerranéennes	Dunes blanches méditerranéenne
Code CORINE	16.12	16.2112	16.2122
Typologie NATURA 2000	Laisse de mer des côtes méditerranéennes	Dunes mobiles embryonnaires méditerranéennes	Dunes mobiles à <i>Ammophila arenaria</i> sp. <i>australis</i> des côtes méditerranéennes
Code N 2000	1210.3	2110.2	2120.2
Classe	<i>Cakiletea maritima</i>	<i>Euphorbio paraliae-Ammophiletea australis</i>	<i>Euphorbio paraliae-Ammophiletea australis</i>
Ordre	<i>Euphorbietalia peplis</i>	<i>Ammophiletelia australis</i>	<i>Ammophiletelia australis</i>
Alliance	<i>Euphorbion peplis</i>	<i>Ammophilion australis</i>	<i>Ammophilion australis</i>
Association	<i>Salsolo kali-Cakiletum aegyptiacae</i>	<i>Echinophoro spinosae-Elymetum farcti</i>	<i>Echinophoro spinosae-Ammophiletum australis</i>
Prodrome	12.0.2.0.1	25.0.1.0.2	25.0.1.0.2

Figure 9 : Table des références d'habitats naturels dunaires (haut de plage, dune embryonnaire et dune vive)

	Dune fixée	Dépressions humides	Dépressions humides
Typologie CORINE biotope	Dunes grises	Prés salés méditerranéens à <i>Juncus maritimus</i> et <i>Juncus acutus</i>	Prés méditerranéens halo-psammophiles
Code CORINE	16.22	15.51	15.53
Typologie NATURA 2000	Dunes fixées du <i>Crucianellion maritima</i>	Prés salés méditerranéens	Prés salés méditerranéens
Code N 2000	2210.1	1410.2	1410.2
Classe	<i>Euphorbio paraliae-Ammophiletea australis</i>	<i>Juncetea maritimi</i>	<i>Juncetea maritimi</i>
Ordre	<i>Ammophiletelia australis</i>	<i>Juncetalia maritimi</i>	<i>Juncetalia maritimi</i>
Alliance	<i>Crucianellion maritima</i>	<i>Juncion maritimi</i>	<i>Plantaginion crassifoliae</i>
Association	<i>Malcomio littoreae-Helichryetum stoechadis</i>		
	<i>Malcomio littoreae-Cruciannelletum maritima</i>		
	<i>Malcomio littoreae-Ephedretum distachyae</i>		
Prodrome	25.0.1.0.3	35.0.1.0.1	35.0.1.0.3

Figure 10 : Table des références d'habitats naturels dunaires (dune fixée, dépression humide)

	Dunes à Genévriers	Dunes à Pins	Steppe à Limonium
Typologie CORINE biotope	Dunes à Genévriers	Dunes boisées	Steppe salée méditerranéenne
Code CORINE	16.27	16.29	15.8
Typologie NATURA 2000	Fourrés à Genévriers sur dunes	Forêts dunales à Pin parasol	Steppe salée méditerranéenne
Code N 2000	2250.1	2270.1	1510
Classe	<i>Quercetea ilicis</i>	<i>Quercetea ilicis</i>	<i>Salicornieta fruticosae</i>
Ordre	<i>Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni</i>	<i>Pistacio lentisci-Rhamnetalia alaterni</i>	<i>Limonietalia</i>
Alliance	<i>Juniperion turbinatae</i>	<i>Juniperion turbinatae</i>	<i>Limonion confusi</i>
Association	<i>Asparago acutifolii-Juniperetum macrocarpae</i>	<i>Quercu ilicis</i>	<i>Limonietum gerardino-virgati</i>
	<i>Quercu ilicis-Pinetum halepensis</i>		<i>Artemisio caeruleae-Limonietum virgati</i>
Prodrome	56.0.2.0.4	56.0.2.0.4	63.0.2

Figure 11 : Table des références d'habitats naturels dunaires (dunes à Genévriers, dunes boisées et steppe à Limonium)

3. Variations de végétation le long du littoral régional

Les différents habitats dunaires : végétation de haut de plage, dune embryonnaire, dune vive et dune fixée ainsi que les habitats « de contact » : dépressions humides, steppes salées, ne se présentent pas de manière systématique et régulière tout le long du littoral régional.

Ces variations sont liées à des contraintes naturelles : topographie, granulométrie, présence de zones humides, de cours d'eaux, d'étangs (...) mais également anthropiques (arasement des dunes, constructions de routes sur les cordons dunaires, mises en culture, urbanisation de portions de cordons dunaires, comblement des zones humides, etc.).

Une analyse granulométrique réalisée en 1990 entre la plage du Racou à Argelès et l'étang de Pissevaches au pied du massif de la Clape (86 sites de prélèvements) par Baudière (1990) fournit les données suivantes :

Valeurs en %	Sable fin	Sable moyen	Sable grossier	CaCO ₃
Plage du Racou	0	0	100	[0]
Nord Argelès-plage	0,2	5	95	[0]
Sud Canet-plage	0,7	19	80	[0]
Nord Barcarès	3	24	75	[0]
Leucate-plage	0	25	75	[0]
Grau de La Franqui	3	75	22	[12]
Les Coussoules	11	82	7	[65]
Grau Vieille-Nouvelle	25	75	0	[25]
Sud de Gruissan	22	78	0	[18]
Pissevaches	20	80	0	[21]

Figure 12 : Table des données granulométriques entre Argelès-sur-Mer et le pied du massif de la Clappe

Le rocher de Leucate représente une charnière sur le littoral régional où s'effectue un double changement dans la nature des sables :

- changement de taille : prépondérance de sables grossiers au sud alors qu'au nord, les sables fins et moyens dominant.
- changement de composition chimique : sables entièrement siliceux au sud, alors qu'au nord, ils présentent une proportion notable de carbonates (valeur extrême des Coussoules due à la présence locale de sables extrêmement chargés en débris coquillés).

Ces variations sont dues à des variations dans la provenance des alluvions :

- Au sud, les alluvions issus des Pyrénées sont siliceux et hétérométriques charriés par les fleuves côtiers à cours rapide (le Tech, la Tet et l'Agly). Leur pH est acide avec une moyenne de 6.65 (Parisod C. et Baudière A., 2006)
- Au nord, les alluvions en provenance des massifs alpins sont riches en calcaires et homométriques car charriés sur de longues distances. Ils sont apportés par le Rhône et sont ensuite repris par un courant parallèle à la côte du Golfe du Lion.

Parallèlement à ces modifications des caractéristiques du substrat sableux, des variations dans la composition des communautés végétales peuvent être observées. Ces variations de composition des associations peuvent également être liées aux limites de répartition naturelles des espèces, à la morphologie des sites, à l'alimentation en sable des plages et à l'orientation des côtes par rapport au vent dominant.

Ces modifications de végétation seront étudiées et analysées grâce au travail de terrain de la phase 2. Par habitat, on peut déjà noter dans la bibliographie les variations suivantes :

➤ Végétation de haut de plage

Selon Baudière (1990), les variations dans la composition physico-chimique du sable n'ont pas d'incidence dans la composition floristique de la végétation de haut de plage. Cependant concernant *Euphorbia peplis*, sa répartition paraît liée à la présence de sédiments grossiers. En effet la plus importante station de l'espèce se trouve en France sur le lido de Villeneuve-lès-Maguelone où le substrat est constitué de galets et de sables.

Dans l'étude des variations de répartition de cet habitat, il est nécessaire de considérer les impacts anthropiques induits sur les différents secteurs. En effet le nettoyage mécanique des plages et la forte fréquentation des plages sont des facteurs non négligeables de disparition de l'habitat.

➤ Dune embryonnaire

La sous alliance ***Sporobolo-areanarii-Elymenion farcti*** (Bardat et al., 2005) avec *Elymus farctus*, *Euphorbia paralias*, *Sporobolus pungens* et *Eryngium maritimum* (également ***Agropyretum mediterraneum*** dans la littérature, Bissardon et al., 1997), correspond aux

communautés des dunes embryonnaires et cordons dunaires peu alimentés en arènes (Bardat et al., 2005).

➤ Dunes fixées

Au nord du rocher de Leucate, on assiste à la raréfaction, voire la disparition de *Corynephorus canescens* et *Alkanna tinctoria* et l'apparition massive de *Teucrium dunense* et *Crucianella maritima* (Baudière, 1990).

Les groupements à *Corynephorus* sont limités aux arrières dunes plates du Roussillon.

On rencontre également sur les dunes du Roussillon des associations végétales particulières:

Malcomietalia ramosissimae (Rivas Goday 57 dans De Foulcault et Julve, 1991), caractérisée par la présence de *Malcomia ramosissima* espèce protégée régionalement.

Diantho catalaunici-Scrophularietum humifusae (De Foulcault et Julve, 1991), caractérisée par la présence de *Dianthus pyrenaicus subsp. attenuatus* et *Scrophularia canina var. humifusa*

Alkanna tinctoriae-Corynephorum canescentis (De Foulcault et Julve, 1991), caractérisée par la présence de *Alkanna matthioli* et *Corynephorus canescens*.

Enfin, les dunes fixées à genévrier présentes sur le littoral du Grau du Roi constituent la limite ouest de répartition de l'espèce en France.

Les annexes présentent une synthèse bibliographique de relevés phytosociologiques réalisées sur les côtes du Languedoc-Roussillon.

B. Caractérisation des ouvrages de protection dunaire

Les ouvrages de protection dunaire peuvent être de plusieurs types, selon le rôle qu'ils doivent assurer : reconstitution de dunes côtières, restauration dunaire, stabilisation, aide à la végétalisation ou gestion de la fréquentation.

1. Reconstitution des dunes côtières

a. Objectifs

Dans la plupart des cas, les dunes disparues nécessitent d'être reconstituées ; ce cas de figure vaut également lorsque de larges brèches* fragmentent un cordon dunaire. Le principe est de gagner du temps sur les processus sédimentaires (la reconstitution naturelle d'une dune est un phénomène très long), en recréant mécaniquement le volume dunaire perdu ; il s'agit de mettre en forme puis de protéger un cordon, qui va constituer l'amorce de la future dune. Les processus naturels se chargeront par la suite de faire évoluer ce cordon.

Le matériau utilisé pour la reconstitution des dunes est le sable fin (exemple de la flèche de la Gracieuse), mais l'utilisation des biomasses végétales échouées sur la plage peut permettre de pallier localement à un manque de sédiments (exemple du tombolo ouest de Giens).

b. Mise en œuvre : exemple de la flèche de la Gracieuse, Fos-sur-Mer (13)

Digue protectrice naturelle pour les installations industrialo-portuaires de Fos sur Mer, la flèche de la Gracieuse est localisée à l'embouchure du Rhône (rive gauche). Elle se caractérise par la présence d'un cordon dunaire, excepté à son extrémité libre. De plus en plus dégradé (action conjuguée de la fréquentation et du vent de terre qui souffle ici sans entrave), le cordon était en voie de déstabilisation totale ; la flèche, fluctuante, menaçait de se disloquer. En 1988, le Port Autonome de Marseille, gestionnaire du site, lance une opération de reconstitution du cordon dunaire, suite aux propositions issues d'un diagnostic effectué auparavant.

Un cordon sableux est créé par reprofilage de la plage en plusieurs phases étalées entre 1988 et 1993 (avec des engins de génie civil), sur un linéaire de 4 km, soit un volume de 50 000 m³. Aligné parallèlement au trait de côte, il est positionné en haut de plage, et ses pentes suivent au plus près celles des dunes naturelles du secteur : pente douce face au vent dominant (vent de terre : le Mistral), pente plus raide en versant maritime.



Figure 13 : Photographie de la Flèche de la Gracieuse (13), talutage mécanique des versants du bourrelet sableux, corps de la future dune

Cet important volume sableux est ensuite protégé de l'action éolienne, mais également du piétinement, par un maillage de lignes de ganivelles*, qui épouse la forme du cordon. Celles-ci sont mises en place dès que le cordon est réglé suivant sa forme définitive, pour éviter toute perte sableuse. Trois passerelles de franchissement sont mises en place, sur un système de pilotis, pour permettre l'accès à la plage. Un suivi de l'évolution du cordon (photographies, profils topographiques) est instauré dès la fin des travaux.



Figure 14 : Photographies de la Flèche de la Gracieuse (13), vue aérienne de l'ouvrage en cours de réalisation (à gauche) ; détail de l'extrémité (à droite)

c. Efficacité

Quelques années seulement après cet aménagement, l'objectif est atteint : le cordon dunaire amorcé lors des travaux a perduré ; l'érosion et les déplacements de la flèche ont été contenus. Les submersions marines de la flèche (le diagnostic avait montré que c'était le principal facteur de sa déstabilisation) ont été stoppées. De surcroît, l'ouvrage en ganivelles mis en place sur le cordon a piégé d'importantes quantités de sable ; dans certains secteurs, le volume dunaire s'est accru d'environ un tiers de sa valeur. La végétation a commencé à coloniser le cordon, essentiellement la façade terrestre, complétée par une intervention humaine (plantation d'oyats). Enfin, les aménagements réalisés ont été globalement respectés (peut-être à attribuer à la campagne d'information et de sensibilisation du public qui avait été mise en place à l'issue des travaux).



Figure 15 : Photographie de la Flèche de la Gracieuse (13), vue de l'ouvrage ; ensablement des casiers de ganivelles et colonisation par la végétation en façade terrestre

d. Limites

Les contraintes liées à ce type d'aménagements sont multiples. Avant tout, ils nécessitent une source importante de sédiments à proximité du lieu à recharger (ce qui est loin d'être le cas partout), et de surcroît adaptés au site (sable de granulométrie adaptée au site). En outre, le fait de réaliser un apport sableux implique obligatoirement un important dispositif de protection du sable, essentiellement contre l'érosion éolienne (ici un maillage de ganivelles), avant qu'un recouvrement végétal suffisant ne puisse remplir ce rôle. Or, 25 ans après ces aménagements, ce recouvrement n'a pas encore été atteint ; les volumes sableux du cordon dunaire ne sont donc pas fixés, et cette instabilité provoque l'usure des ouvrages de protection. Une évolution régressive est même apparue récemment sur la flèche, après plusieurs années sans entretien des ouvrages (brèches dans le cordon dunaire, reprise d'une sensible mobilité de la flèche). De lourds travaux de correction de ces évolutions ont été entrepris par le gestionnaire du site : cependant au bout de 25 ans les investissements consentis peuvent être considérés comme largement amortis.



Figure 16 : Photographie de la Flèche de la Gracieuse (13), vue de l'ouvrage ; forts volumes sableux sans végétation

2. Restauration dunaire

a. Objectifs

Les dunes dégradées (que la cause soit d'origine naturelle ou humaine) nécessitent d'être restaurées, c'est-à-dire de faire l'objet de travaux visant à retrouver leur état initial. Du point de vue morphologique, il s'agit notamment de conforter les dunes ayant perdu un grand volume

sableux, par l'utilisation de techniques de piégeage du sable : l'alimentation en sédiments doit se faire naturellement (apports éolien mais également marins, en haut de plage).

b. Mise en œuvre : exemple de la plage publique de Mahdia (Tunisie)

La station balnéaire de Mahdia, sur le littoral oriental de Tunisie, a connu un fort développement touristique dans la période récente. La fréquentation massive et non maîtrisée des lieux a eu un impact très net sur le cordon dunaire qui sépare la plage des infrastructures urbaines, et qui constitue un patrimoine naturel de premier ordre à l'échelle de cette région. La disparition du couvert végétal protecteur (piétinement anarchique du public) a entraîné une déstabilisation progressive des dunes, dont le volume (versant maritime) a été réduit en de nombreux secteurs. Une partie de ce sable est d'ailleurs venue envahir le boulevard de front de mer.

Suite à un diagnostic global effectué sur le site, il a été proposé de mettre en place des ouvrages en ganivelles dans le but de piéger le sable provenant de la plage pour conforter les faiblesses altimétriques du cordon dunaire, ainsi que pour éviter l'ensablement de l'urbanisation en arrière du cordon dunaire. Une ligne de ganivelles de mise en défens, côté plage, complétait le dispositif en empêchant le passage du public dans la dune, dont l'accès à la plage était rendu possible par l'aménagement de passages encadrés. Par le biais d'un transfert de technologie entre l'EID Méditerranée et l'Agence de Protection et d'Aménagement du Littoral tunisien (Etat), les travaux ont pu être réalisés en 2000. Le personnel tunisien a bénéficié à cette occasion d'une formation aux techniques de génie écologique littoral.



Figure 17 : Photographie de la plage de Mahdia (Tunisie), vue d'un des ouvrages réalisés

c. Efficacité

Le suivi effectué après les travaux de 2000 a montré que l'ensemble des aménagements réalisés avait permis d'atteindre les objectifs fixés au départ. La photo suivante montre l'ensablement des deux premières rangées de casiers de ganivelles : le sable venant de la plage est piégé (la deuxième ligne de ganivelles en partant de la droite est déjà saturée), le cordon dunaire a retrouvé un volume satisfaisant ; le problème de l'ensablement de la station urbaine a été du même coup résolu. La maîtrise de la fréquentation a en outre permis le développement spontané de la végétation dunaire à l'intérieur des zones protégées, excepté à proximité de la plage (dune vive, la plus dynamique ; c'est là que les mouvements sableux sont les plus intenses, rendant difficile la végétalisation).



Figure 18 : Photographie de la plage de Madhia (Tunisie), même ouvrage que précédemment, trois ans après les travaux

d. Limites

Les contraintes de ce type d'ouvrage résident dans les caractéristiques du matériau lui-même (sensible aux dégradations, en particulier d'origine humaine : feu, casse), ce qui nécessite une maintenance régulière (suivi, entretien). A noter également la difficulté pour la colonisation du sable mobile par les espèces végétales, ce qui peut induire des interventions complémentaires d'aide à la végétalisation, une fois le volume sableux suffisant (paillage, voire plantation d'espèces adaptées). Enfin, cette technique implique la présence à l'avant d'une plage suffisamment large pour fournir le sable nécessaire au confortement de la dune. Elle n'est donc pas applicable aux sites en forte érosion.

3. Stabilisation

a. Objectifs

Certaines parties de cordons dunaires sont caractérisées par une instabilité sableuse ; il s'agit de cavités ("caoudeyres"), d'entailles ("siffle-vent") ou de simples versants qui, par manque de couvert végétal protecteur, sont soumis à l'action éolienne qui mobilise les sédiments, sans que la végétation ne parvienne à coloniser ces zones à forte dynamique. La plupart du temps, les processus naturels conduisent ces zones à s'agrandir et s'approfondir tant que la végétation ne vient pas corriger cette évolution. Le risque est la déstabilisation progressive de l'ensemble d'un cordon dunaire.

Les techniques de génie écologique permettent d'aider la nature à réguler ces phénomènes, par la mise en place d'ouvrages de stabilisation du sable, préalable à une recolonisation spontanée par la flore dunaire. Elles peuvent si nécessaire s'accompagner de mesures d'aide à la végétalisation.

b. Mise en œuvre : exemple des Orpellières, Sérignan (34)

La commune littorale de Sérignan (Hérault), présente un cordon dunaire relictuel de forte valeur patrimoniale, et qui a à ce titre fait l'objet d'une acquisition par le Conservatoire du Littoral dès le début des années 1980. Fortement dégradé par une fréquentation non maîtrisée, ce cordon fragilisé a de plus subi l'impact des tempêtes ayant affecté cette partie du littoral.

Parmi les dégradations constatées, une profonde cavité (caoudeyre) s'est formée dans la partie centrale du cordon, s'agrandissant progressivement sous l'action érosive du vent, principalement le vent de terre. L'action entreprise, dans les années 1980, a consisté en la mise en place dans cette cavité d'un réseau de lignes de ganivelles dont l'objectif était de freiner l'action éolienne érosive. La morphologie de la caoudeyre a impliqué la mise en place des ganivelles suivant les courbes de niveau topographique, sur les flancs et le fond de la cavité.



Figure 19 : Photographie des Orpellières (34), vue de l'ouvrage, quelques années après sa mise en place

c. Efficacité

Le principal objectif de cet aménagement a été atteint ; le réseau de ganivelles mis en place a permis la stabilisation de la quasi-totalité des versants de la caoudeyre. Lentement, la végétation dunaire a pu commencer à recoloniser les espaces de sable nu ; la réhabilitation de cette partie du cordon dunaire est donc en bonne voie.

d. Limites

La contrainte principale de ce type d'intervention réside dans sa mise en place, longue et difficile en raison de cette morphologie particulière : versants arrondis, fortes pentes (qui rendent aléatoire d'autres méthodes de stabilisation, comme la mise en place d'un paillage ou d'un géotextile biologique). Cet aménagement est consommateur en matériaux, qui de plus présente les inconvénients de leur nature même (sensibilité à la dégradation, nécessité d'une maintenance).

4. Aide à la végétalisation

a. Objectifs

Les techniques d'aide à la végétalisation ont pour objectif d'accélérer les capacités naturelles de colonisation par la végétation. Ces méthodes sont utilisées après une reconstitution dunaire ou pour la cicatrisation d'une zone dunaire suite par exemple, à un piétinement intense.

b. Mise en œuvre : exemple des dunes du Grau du Roi, couverture végétale de *Phragmites australis*

Suite à une réhabilitation dunaire ou une mise en défens, les zones sableuses non végétalisées peuvent être recouvertes d'une couverture végétale morte. La couverture végétale la plus fréquemment utilisée en Languedoc-Roussillon est la tige de *Phragmites australis*.

Les tiges de *Phragmites australis* sont disposées sur le revers du cordon afin de former un paillage (les tiges sont croisées constituant un maillage sur 10 cm d'épaisseur). Cette couverture morte doit être autant que possible exempte de propagules d'espèces adventices ou invasives.

Les dunes des Baronnets à la Capelude, au Grau du Roi (Gard), illustrent cette technique. D'importants travaux de consolidation dunaire ont été menés en 2003 et des paillages ont été disposés sur le revers de la dune à l'intérieur des ouvrages en 2005.



Figure 20 : Photographies des dunes du Grau du Roi (30), paillage du revers d'un cordon dunaire reconstitué et gerbe de *Phragmites australis*

c. Efficacité

Ce dépôt de matériel végétal permet de stabiliser le stock sableux et d'accélérer la reprise naturelle de végétation, dans les zones où les dépôts sableux éoliens ne sont pas trop importants. Cette technique favorise le piégeage des graines de la végétation in situ et donc son développement.

Deux ans après le dépôt des tiges de phragmites sur le cordon dunaire, le paillage est légèrement recouvert de sable et une végétation dunaire (oyat, chiendent) colonise le milieu.



Figure 21 : Photographies des dunes du Grau du Roi (30), colonisation du paillage par la végétation entre 2005 (à gauche) et 2007 (à droite)

La présence de ce tapis végétal a favorisé la colonisation par la végétation sur de nombreuses zones des ouvrages. Les phragmites proviennent de Camargue et présentent l'avantage d'être peu coûteux et disponibles en grande quantité.

d. Limites

La reprise de végétation est variable en fonction de la position des casiers couverts de phragmites sur le revers de dune et de leur exposition au vent et à l'humidité. Dans certains secteurs le paillage est intact ou recouvert de sable, sans végétation.

La reprise de végétation n'est donc pas systématique, cependant ces zones pourront être ultérieurement colonisées par la végétation.



Figure 22 : Photographie de la dune du Grau du Roi (30), paillage intact

e. Mise en œuvre : exemple de la plage de la Rivierette, Portiragnes (34) : géotextile biodégradable

Les géotextiles biodégradables sont tissés à partir de fibres de coco ou de jute, ils sont fixés dans les secteurs à cicatriser grâce à des agrafes métalliques.



Figure 23 : Photographie d'un paillage mis en place sur un sentier sauvage, Portiragnes (34)

f. Efficacité

Ces géotextiles améliorent localement les conditions d'humidité du substrat et limitent l'érosion éolienne. Leur présence favorise la reprise de végétation car ils permettent de capter les graines de la végétation *in situ*.



Figure 24 : Photo 26 : Colonisation du géotextile par *Calystegia soldanella*, Portiragnes (34)

Les géotextiles peuvent être utilisées lors des opérations de végétalisation afin de préparer le substrat, leur utilisation est notamment indispensable lors de la végétalisation de secteurs pentus.

g. Limites

Sans une mise en défens efficace, le géotextile ne permet pas la cicatrisation des secteurs piétinés.

Les géotextiles biodégradables sont des matériaux assez fragiles, brûlant facilement en cas d'incendies dans la dune, et les agrafes métalliques utilisées pour la pose se dégradent beaucoup plus lentement que le géotextile. Sur des versants à trop fortes pentes, la mise en place de ces textiles peut s'avérer difficile, voire impossible.

Enfin, la qualité esthétique de ces géotextiles est parfois discutable.

Exemple du Grand Travers

h. Mise en œuvre : exemple du Grand Travers, Mauguio-Carnon (34) : végétalisation à partir de plants adultes

Sur les dunes du Grand Travers une opération de végétalisation a été réalisée en 2000. Des espèces végétales autochtones ont été utilisées pour la réhabilitation du milieu : *Anthemis maritima*, *Artemisia campestris ssp. glutinosa*, *Eryngium maritimum*, *Euphorbia paralias*, *Helichrysum stoechas* et *Medicago marina*.

La sélection des espèces végétales est une étape primordiale, qui doit être faite en fonction de la diversité spécifique actuelle ou passée des stations à végétaliser. Les graines et boutures doivent venir du site même ou des dunes les plus proches et les conditions de culture en pépinière doivent être aussi proches que possible des conditions naturelles, afin de favoriser l'adaptation des plants au milieu dunaire.

Suite à une phase de multiplication en pépinière d'une année, les individus sont introduits avec une densité moyenne de 5 pieds/m². L'automne est la période la plus propice pour réaliser les plantations, qui bénéficieront alors des pluies hivernales. L'implantation des espèces utilisées se fait en fonction de leur distribution naturelle sur la dune.

Au total 1500 plants ont été répartis sur les différents sites à végétaliser et du géotextile a été utilisé afin de réduire l'érosion éolienne. Les dunes du Grand Travers étant très fréquentées par les promeneurs et les vacanciers toute l'année, les sites végétalisés ont été signalés par des panneaux d'information et délimités par un fil métallique.

i. Efficacité

Cette technique permet d'accélérer la revégétalisation naturelle d'un site et donc à terme de stabiliser le stock sableux et d'améliorer la qualité paysagère.

Les graines des individus implantés se disséminent sur le site et augmentent ainsi la banque de graines disponibles.

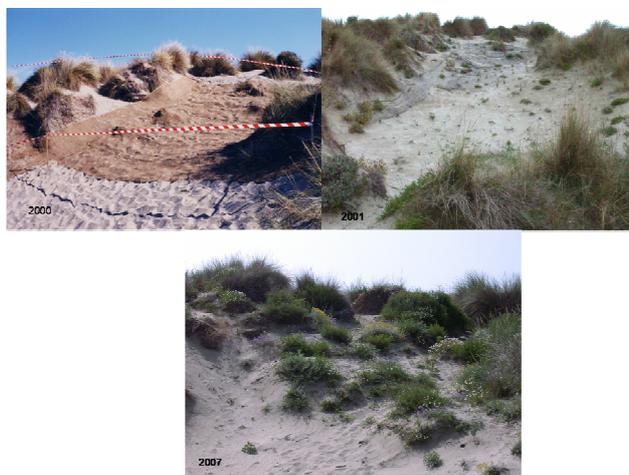


Figure 25 : Photographies du site ayant bénéficié de l'opération de végétalisation, Le Grand Travers (34)

Sur la station 1 (photo ci-dessus), 7 ans après l'opération de végétalisation, les résultats sont satisfaisants avec un recouvrement végétal de l'ordre de 50%. La végétation s'est bien développée et des individus de *Ammophila arenaria*, *Echinophora spinosa* et *Malcolmia littorea* ont colonisé spontanément le milieu.

j. Limites

La mortalité des individus est assez forte car le succès de la reprise de végétation est dépendant des conditions climatiques, de la dynamique sableuse, de la fréquentation, etc.

Dans l'exemple des dunes du Grand Travers, certaines stations végétalisées ont été très fréquentées et la quasi-totalité des plants a été détruite. Sur d'autres stations, la végétalisation a réussi à coloniser le milieu mais de nombreux couloirs d'érosion se sont formés. Le succès d'une opération de végétalisation est fortement dépendant de la gestion de la fréquentation (mise en défens).

D'autres méthodes de végétalisation des dunes peuvent être mise en oeuvre : bouturage et semis. Ces techniques moins coûteuses mais également moins spectaculaires permettent de favoriser l'adaptation des individus plantés.

5. Gestion de la fréquentation en milieu dunaire

a. Objectifs

La gestion de la fréquentation du public dans les espaces dunaires côtiers est indispensable ; elle permet d'assurer leur protection durable et de pérenniser les actions de restauration du milieu. Le principe est de contrôler l'accès du public à la plage (matérialisation et encadrement d'accès pour les piétons, les handicapés et les véhicules autorisés), et d'empêcher le piétinement de la végétation dunaire (mise en défens).

b. Mise en œuvre (projet en cours) : exemple du lido nord de Canet-en-Roussillon (66)

La plupart des opérations menées par l'EID Méditerranée comprenaient un volet "gestion de la fréquentation", intimement lié aux autres interventions pratiquées (restauration ou reconstitution dunaire, aide à la végétalisation, etc...). Dans le cas précis du lido de Canet, ce volet constitue le thème principal du projet de réhabilitation du lido, entre Canet-Plage et St Cyprien-Plage (4 km de linéaire côtier), nettement dégradé par une fréquentation non maîtrisée (piétons et véhicules sur le cordon dunaire). Le projet consiste donc à mettre en défens le cordon dunaire et assurer une saine gestion du passage du public depuis les aires de stationnement vers la plage.

La mise en défens est assurée par la mise en place d'une ligne de ganivelles ceinturant l'ensemble du cordon dunaire (clôture) pour le soustraire au piétinement. En plus des accès plage classiques équipés de panneaux de sensibilisation, des passages particuliers seront aménagés pour l'accès à la plage de pêcheurs, kite-surfers, véhicules de livraison pour les concessions de plage : passage plus large que pour les piétons, mise en place d'un platelage en bois, de barrières de contrôle.



Figure 26 : Photographie d'un panneau de sensibilisation du public, installé aux débouchés de chaque accès piétonnier, Canet-en-Roussillon (66)



Figure 27 : Photographie d'un accès encadré par deux lignes de ganivelles avec géotextile de protection, Canet-en-Roussillon (66)

c. Efficacité

Les ouvrages mis en place ont permis une évolution positive, qui s'est notamment traduite par le développement de la végétation dans les zones soustraites au piétinement. Les équipements en place ont été relativement respectés, et utilisés à bon escient, preuve d'une perception satisfaisante par le public. L'intégration paysagère des aménagements a également été soulignée. L'objectif initial semble donc possible à atteindre : permettre de concilier les usages (accès du public à la mer) et le respect du fonctionnement naturel du milieu dunaire.



Figure 28 : Photographies d'un ancien passage sauvage (à gauche) mis en défens (à droite), Canet-en-Roussillon (66)

L'évolution du couvert végétal entre juin 2006 (à gauche) et mars 2007 (à droite) est notable.

d. Limites

Concernant la mise en défens, une limite apparaît côté plage : à certains endroits, la ligne de ganivelles s'est trop ensablée, devenant franchissable par le public et ne pouvant donc plus jouer son rôle de clôture. Elle a par ailleurs fait l'objet de dégradations volontaires (limitées).

III. METHODOLOGIES D'ÉVALUATION

A. Méthodologie d'évaluation des systèmes dunaires

1. Définition préalable aux évaluations

➤ Définition des unités dunaires évaluées

Dans cette étude, les unités dunaires évaluées doivent répondre à l'ensemble des critères ci-dessous :

- posséder au moins un habitat dunaire représentatif (en terme de topographie, végétation, situation)
- avoir une localisation spatiale cohérente (littorale, parallèle au trait de côte)
- posséder un stock utile de sable
- être un système naturel (leur existence ne doit pas être due à la présence d'éléments artificiels : pas de merlon, enrochements...), les cordons dunaires reconstitués sont évalués car leur restauration utilise des processus naturels pour restituer au milieu son fonctionnement originel
- faire partie d'un système dunaire cohérent (les petits bourrelets dunaires isolés et uniques ne seront pas évalués, dans le cas de la présence de plusieurs bourrelets dunaires sur une portion côtière homogène, ces portions de dunes seront évaluées comme un ensemble unique ayant été fragmenté par l'action humaine)

➤ Délimitation des unités dunaires évaluées

Afin de faciliter l'approche globale de l'état de conservation des dunes littorales du Golfe du Lion, celui-ci a été divisé en secteurs. Cette sectorisation est établie en fonction d'un critère essentiel : l'homogénéité du linéaire côtier. L'unité homogène de référence est la cellule sédimentaire. En effet, selon le Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux du bassin Rhône (SDAGE) la cellule sédimentaire est une portion côtière ayant un fonctionnement hydro-sédimentaire homogène et autonome par rapport aux portions voisines. Chaque secteur étudié appartient donc entièrement à la même cellule sédimentaire. Au sein de ces cellules sédimentaires, les délimitations des unités dunaires seront basées sur des séparations naturelles des cordons dunaires : cours d'eau, zones humides, zones rocheuses. Ces délimitations seront aussi basées sur des critères anthropiques : secteurs urbanisés du littoral : ports, habitats, infrastructures vs secteurs naturels. Enfin, les unités dunaires doivent présenter une homogénéité de caractéristiques morphologiques, floristiques et paysagères.

➤ Localisation des transects d'évaluation au sein des unités dunaires

A l'intérieur de l'unité dunaire à évaluer, une zone est choisie pour réaliser l'évaluation sur le terrain.

Cette zone doit être représentative de l'unité dunaire en question, elle sera également située à un endroit où l'ensemble des habitats présents sur le site est représenté.

Sur cette zone représentative un transect de 40 m de large est étudié. Cette surface correspond à l'aire minimale nécessaire aux relevés de végétation sur lequel on réalisera les évaluations écologiques.

Si au sein de l'unité dunaire on observe des secteurs variables mais ne nécessitant pas de diviser l'unité en plusieurs unités distinctes, on pourra alors réaliser plusieurs transects.

➤ Paramètres d'évaluation

Les méthodes d'évaluation qui vont être présentées ci-dessous s'appuient sur la distinction des différents habitats dunaires comme base de l'évaluation. Les habitats dunaires sont différenciés selon leurs caractéristiques propres : botanique, morphologie, physionomie, etc. (voir la description des habitats du paragraphe I.A.2.)

A l'intérieur de chaque transect de 40m de large, les évaluations sont basées sur :

- Un **inventaire botanique** des différentes espèces présentes au sein de chaque habitat sur toute la largeur du transect.

- Un **relevé phytosociologique** au sein de chaque habitat sur toute la largeur du transect. Pour les habitats : végétation de haut de plage, dune embryonnaire, dune vive et dune fixée du *Crucianellon*, la phytosociologie sigmatiste sera retenue pour cette étude puisque le nombre de *synusies** est réduit : *synusie des chaméphytes*[†] et *synusie des thérophytes** (cette dernière étant assez peu développée). Concernant les dunes boisées à pins la méthode *synusiale* sera utilisée pour prendre en compte les différentes strates de végétation.

- Une **analyse morphologique et paysagère** des secteurs.

2. La démarche d'évaluation et la phase de sélection des indicateurs

L'évaluation de l'état des systèmes dunaires est nécessaire pour préserver non seulement leur valeur patrimoniale mais également l'ensemble des services écosystémiques rendus. A l'heure actuelle, il peut être difficile de définir un état initial de référence car les milieux littoraux méditerranéens ont été fortement modifiés (Moulis et al., 2001) : réduction de l'espace littoral, arasement des dunes, mise en culture, comblement et assèchement des dépressions humides, protections lourdes en mer (épis, brises lames) modifiant le transit sableux... La définition de cet état se référera à des situations observées sur le terrain et considérées comme optimales : succession la plus complète de faciès morphologiques et végétaux en perpétuelle évolution (Fevrier, 2002).

L'appréciation de l'état de conservation doit se baser sur la composition spécifique, la structure et la fonctionnalité d'un milieu (Bioret, 2002), à ces fins, l'utilisation d'indicateurs permet de synthétiser les informations et de mettre en évidence d'éventuelles perturbations (Jun, 2005).

Les indicateurs écologiques sont des variables mesurables représentant des caractéristiques supposées d'un écosystème (Vives, 1996). Ce concept base son étude au niveau des populations ou des communautés : les changements de composition spécifique, l'apparition et la disparition d'espèces et les changements de densité renseignent sur l'état de l'écosystème (Jun, 2005).

La végétation naturelle des dunes joue un rôle majeur dans l'évaluation de l'état de conservation (Araujo et al., 2002), sa richesse spécifique notamment est souvent utilisée pour évaluer la santé et connaître l'évolution d'un milieu. Cependant un diagnostic favorable de l'état du patrimoine repose sur une biodiversité non régressive, moyenne pour le milieu. Une trop grande diversité spécifique dénote la présence d'adventices, voire de rudérales* indiquant une dégradation du milieu et une trop faible diversité indique un milieu banalisé (Richard, 2002). La modification de la fréquence de présence des espèces est souvent la conséquence d'une pression anthropique élevée : certaines espèces sensibles à l'influence humaine comme *Medicago marina* et *Ammophila arenaria ssp australis* vont se développer dans les zones peu piétinées (Tzatzanis et al., 2003). Au contraire, d'autres espèces comme *Elytrigia juncea* moins sensibles aux impacts anthropiques sont présentes des milieux naturels aux milieux fortement anthropisés, elles ne peuvent donc pas être utilisées comme plantes indicatrices (Tzatzanis et al., 2003). Les espèces à mode de dispersion épizoochore vont être favorisées dans les zones très fréquentées :

Cynodon dactylon par exemple, peut être vu comme un indicateur d'anthropochorie (Tzatzanis et al., 2003). Enfin la végétation naturelle des dunes, étroitement liée à sa géomorphologie, peut également permettre d'évaluer des changements abiotiques de cet ordre (Araujo et al., 2002) ; par exemple la perte de vigueur de l'oyat indique un faible taux d'accumulation sableuse (Corre, 1971).

La dynamique des habitats représente un bon indicateur de l'évolution du milieu, la stabilité relative de la surface des différents habitats (l'accroissement de l'un étant compensé par la diminution d'un autre) représente un diagnostic favorable (Richard 2002). La présence d'une dune embryonnaire peut être en elle-même un indicateur de la dynamique côtière, son développement révèle un système en accréation (budget positif des sédiments de la dune) et une bonne gestion de la fréquentation (Williams et al., 2001, Favennec, 2002).

En zone atlantique les mousses et les lichens se répartissent de la dune semi-fixée à l'arrière dune fixée où ils prennent une part importante dans les processus de maturation de l'écosystème en participant à sa fixation et à sa résistance. Ces peuplements souvent utilisés comme bioindicateurs sont réactifs aux faibles variations des conditions écologiques de la dune et très sensibles à deux facteurs de déstabilisation du milieu : piétinement et apport de sable (supérieur à 2 cm d'épaisseur par an ; Jun, 2005). Les conditions climatiques étant plus rudes en zone méditerranéenne, les communautés de mousses et de lichens sont réduites et limitées à l'arrière de la dune fixée. Cependant leur prise en compte peut comme en zone atlantique, permettre de connaître l'évolution du système dunaire, la régression des peuplements traduisant une déstabilisation et l'implantation indiquant au contraire une maturation du milieu (Jun, 2005).

Choix des indicateurs et notation

Un indicateur est une variable ayant pour objet de mesurer ou d'apprécier un état ou une évolution. Un indicateur doit être une information simple, facilement compréhensible, qui peut-être quantifiée de manière claire, reproductible et rapide et doit synthétiser des phénomènes complexes à différentes échelles.

Les indicateurs utilisés pour chaque grille vont être présentés ci-dessous. Les grilles ont été élaborées en s'appuyant sur des grilles existantes (Biolet, 2002 ; Guyonneau, 2004 ; Biotope, 2005 ; Favennec J., ONF, 2002, etc.). L'approche choisie ici pour l'évaluation est basée sur la végétation et la dynamique des habitats.

3. Elaboration de la grille d'évaluation de l'état de conservation du milieu

Présentation des critères d'évaluation pour chaque habitat :

Continuité du peuplement : cet indicateur est évalué sur l'unité dunaire complète, et pas seulement sur la surface du transect. Il permet de quantifier la présence de l'habitat le long du linéaire considéré, inversement proportionnelle à sa fragmentation.

Notation : on observe la continuité de l'habitat sur tout le linéaire de l'unité dunaire et on l'estime entre 1 et 5. La note 1 pour une continuité faible, 5 pour une continuité forte, 3 pour une présence de l'habitat sur 50% de l'unité dunaire étudiée (...), selon le schéma suivant :

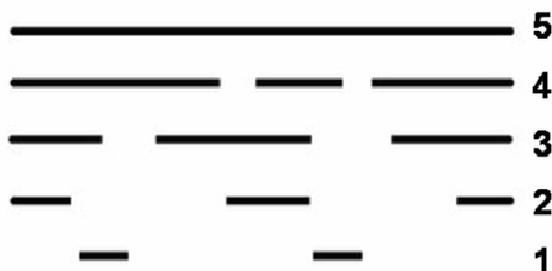


Figure 29 : Classes d'estimation de la continuité du peuplement

Recouvrement végétal : permet de quantifier l'abondance de la végétation en terme de surface de sol recouverte. Cet indicateur est évalué uniquement au niveau du transect. Le recouvrement végétal n'est pas évalué pour haut de plage ni pour la dune embryonnaire car leurs recouvrements sont naturellement faibles. Le recouvrement est estimé à l'intérieur de chaque habitat au niveau du transect. On estime ce recouvrement en pourcentage, classés de la façon suivante :

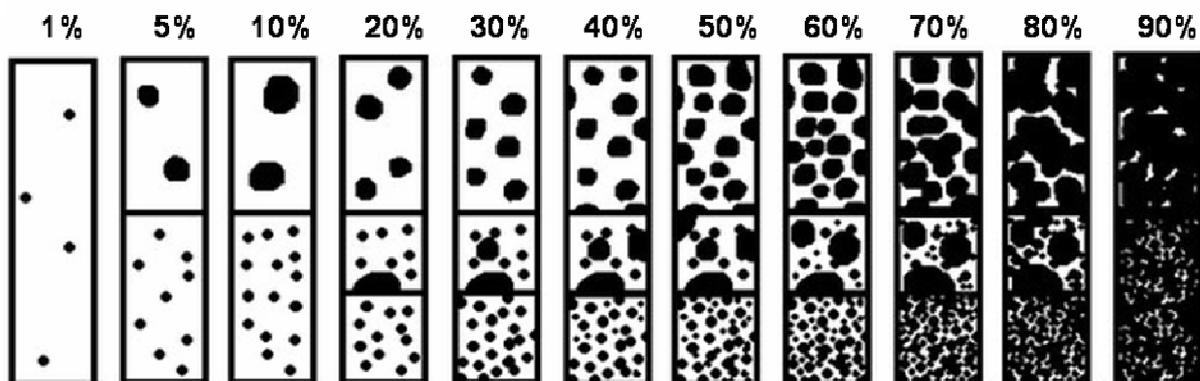


Figure 30 : Classes d'estimation du recouvrement végétal

Les habitats dunaires ne possèdent pas naturellement un couvert végétal de 100%, en dune vive, le maximum de recouvrement est de 70 %, en dune fixée il est de 90 %.

Notation : À partir des maximums de recouvrements observés, on obtient les classes de notes suivantes :

Note \	1	2	3	4	5
Dune vive	≤ 15	15-28	29-40	41-55	56-70
Dune fixée	≤ 20	20-35	36-55	56-70	71-90
Arrière dune	≤ 20	21-40	41-60	61-80	81-100

Figure 31 : Notation du recouvrement en fonction de l'habitat

Dynamique de la végétation : indique si l'habitat est en expansion ou au contraire en régression. Cette dynamique n'est pas évaluée pour le haut de plage puisque sa végétation est annuelle.

On peut définir une **dynamique progressive** par :

- Dune embryonnaire : végétation développée en surface et présence d'individus ou d'îlots pionnier de végétation bas et disjoints en avant de la limite de l'habitat, présence de patches d'individus jeunes, même si leur recouvrement est faible.
- Dune vive : oyat très vigoureux et présence de patches de cette espèce en dune embryonnaire ou en avant de l'habitat côté mer.
- Dune fixée : présence de l'association *Crucianella maritima* en revers de dune vive avec les stades précédents (dune vive et/ou dune embryonnaire) développés. Il est parfois possible de trouver de la végétation de dune fixée en première position, au niveau du haut de plage. Cela ne signifie pas une dynamique progressive de la dune fixée mais au contraire un système dunaire fortement érodé et fragilisé.
- Arrière dune boisée : présence de jeunes individus de buissons préforestiers (*Cistus salvifolius*, *Daphne gnidium*) en avant de l'habitat.

Une **dynamique régressive** est définie par :

- Dune embryonnaire : végétation peu développée, discontinue, recouvrement très faible d'individus adultes, individus de *Echinophora spinosa* et de *Eryngium maritimum* dont une portion du système racinaire est à l'air libre, profil de la façade maritime en falaise.

- Dune vive : perte de vigueur et/ou déchaussement de l'oyat (base des tiges et des rhizomes apparents, chicot dunaire), profil de la façade maritime en falaise.

- Dune fixée : patches d'oyat en arrière de la dune vive, présence de zone de sable nu ou colonisé par une végétation rudérale.

- Arrière dune boisée : saupoudrement sableux important, mort des bourgeons (brûlés par les embruns), mort des individus adultes et pas de renouvellement de la population.

En l'absence de ces critères de progression/régression, on considère que la dynamique est stable.

Notation : la note est attribuée en fonction de la dynamique

Régressive = 0 Stable = 1 Progressive = 2 ou 3 selon le degré de progression

Typicité floristique : permet de quantifier la présence d'espèces caractéristiques de l'habitat et de leur abondance/dominance. Cet indicateur permet aussi de noter la présence d'espèces envahissantes, invasives ou rudérales. La liste des espèces a été établie en synthétisant les listes extraites du Cahier d'habitats Natura 2000 (Tome 2, Habitat côtiers), du code CORINE Biotope ainsi que des expériences de terrain.

Haut de plage	Dune embryonnaire	Dune vive	Dune fixée
<i>Cakile maritima</i>	<i>Elymus farctus</i>	<i>Ammophila arenaria</i>	<i>Crucianella maritima</i>
<i>Euphorbia peplis</i>	<i>Euphorbia paralias</i>	<i>Anthemis maritima</i>	<i>Artemisia campestris</i>
<i>Polygonum maritimum</i>	<i>Eryngium maritimum</i>	<i>Medicago marina</i>	<i>Centaurea aspera</i>
<i>Salsola kali</i>	<i>Echinophora spinosa</i>	<i>Matthiola sinuata</i>	<i>Clematis flammula</i>
4	<i>Sporobolus pungens</i>	<i>Malcolmia littorea</i>	<i>Helichrysum stoechas</i>
	<i>Medicago marina</i>	<i>Echinophora spinosa</i>	<i>Corynephorus canescens</i>
	<i>Matthiola sinuata</i>	<i>Rumex roseus</i>	<i>Dianthus catalonicus</i>
	<i>Catapodium rigidum</i>	<i>Calystegia soldanella</i>	<i>Ephedra distachya</i>
	8	<i>Eryngium maritimum</i>	<i>Malcolmia littorea</i>
		<i>Elymus farctus</i>	<i>Medicago littoralis</i>
		10	<i>Imperata cylindrica</i>
			<i>Lagurus ovatus</i>
			<i>Rumex roseus</i>
			<i>Teucrium polium</i>
			<i>Thymus vulgaris</i>
			<i>Anthemis maritima</i>
			<i>Juniperus phoenicea</i>
			<i>Pinus pinaster</i>
			<i>Pinus pinea</i>
			19

Figure 32 : Tableau des espèces végétales caractéristiques des habitats dunaires

Notation : la note est attribuée en fonction de la présence d'espèces caractéristiques de l'habitat (figure 32). Elle varie de 1 à 5, respectivement de la plus faible à la plus forte typicité. Si les ¾ des espèces caractéristiques sont présentes, on attribue la note 5.

La présence d'espèces invasives et rudérales diminue la note de 1 à 2 points selon leur densité et leur diversité.

Représentativité : permet de noter le degré de conformité de l'habitat avec un habitat type, le plus naturel possible. Elle prend en compte

- la conformité de l'habitat par rapport à l'habitat type : morphologie, position dans le système largeur cohérente proportionnellement aux autres habitats, topographie (surtout pour la dune vive)
- la naturalité du site (présence de déchets, d'éléments d'origine anthropique, etc.)
- si les limites de l'habitat sont naturelles ou non (intégralité du système dunaire ou système tronqué)

Notation : la note doit prendre en compte les différents éléments qui composent cet indicateur. Préciser dans le cadre « Observations » les détails de la note.

Strate bryophytique : cet indicateur ne sert que pour la dune fixée. Les mousses et lichens qui y poussent jouent un rôle important dans les processus écologiques et sont des bons indicateurs de la santé de cet habitat (ELDRIDGE & ROSENTERER, 1999). On différencie :

- l'absence de strate bryophytique
- la présence ponctuelle, soit la présence de patches de mousses et lichens
- la présence importante, soit la présence de grandes surfaces recouvertes par les mousses et les lichens en dune fixée

Notation :

- Absence d'une strate bryophytique = 0
- Présence ponctuelle = 3
- Présence importante = 5

Pour finir, on fait la somme par habitat des notes obtenues pour chaque indicateur, ce qui nous donne la note finale pour conclure sur l'état de conservation de chaque habitat : dégradé, moyen, optimal.

NB : Dans le cas où il est difficile de dissocier la dune embryonnaire de la dune vive (mélange d'espèce des deux habitats, topographie faible, absence d'oyat, pas de succession végétale différenciable, etc.), la notation s'effectuera uniquement pour la dune vive. La notation dans le cadre « dune embryonnaire » sera nulle. Dans ce cas, on parle de « dune mixte » et lui associera la note minimale pour la représentativité et la typicité floristique.

Etat de conservation

Végétation de haut de plage			Σ		
Continuité du peuplement	faible = 1 à forte = 5			3-7	DEGRADE
Typicité floristique	faible = 1 à forte = 5			8-11	MOYEN
Représentativité	faible = 1 à forte = 5			12-15	OPTIMAL
Dune embryonnaire			Σ		
Continuité du peuplement	faible = 1 à forte = 5			3-8	DEGRADE
Dynamique de végétation	régressive = 0, stable = 1, progressive de 2-3			9-14	MOYEN
Typicité floristique	faible = 1 à forte = 5			15-18	OPTIMAL
Représentativité	faible = 1 à forte = 5				
Dune vive ou mixte peu différenciée			Σ		
Continuité du peuplement	faible = 1 à forte = 5				
Recouvrement végétal	faible = 1 à fort = 5			4-10	DEGRADE
Dynamique de végétation	régressive = 0, stable = 1, progressive de 2-3			11-16	MOYEN
Typicité floristique	faible = 1 à forte = 5			17-23	OPTIMAL
Représentativité	faible = 1 à forte = 5				
Dune fixée			Σ		
Continuité du peuplement	faible = 1 à forte = 5				
Recouvrement végétal	faible = 1 à fort = 5				
Dynamique de végétation	régressive = 0, stable = 1, progressive de 2-3			4-10	DEGRADE
Typicité floristique	faible = 1 à forte = 5			11-20	MOYEN
Représentativité	faible = 1 à forte = 5			21-28	OPTIMAL
Strate bryophytique	abs = 0 présence ponctuelle = 3 présence continue = 5				

Figure 33 : Grille d'évaluation de l'état de conservation

4. Elaboration de la grille d'évaluation de la valeur patrimoniale

Dans cette grille on s'intéresse tout d'abord au statut de protection du site, c'est-à-dire s'il s'agit d'une zone réglementée, d'une zone à inventaires scientifiques, ou si elle est soumise à des engagements internationaux. Aussi, on notera la présence d'un habitat prioritaire au titre de la directive européenne Natura 2000, directive Habitats. Dans le cas des dunes, il peut s'agir d'une arrière dune à *Juniperus sp.* ou à *Pinus pinea* et/ou *Pinus pinaster* ou d'une steppe salée à *Limonium*. La présence de ZNIEFF ou de ZICO, sera prise en compte, ainsi que la présence d'une protection réglementaire ou d'engagements européens.

Notation :

- Présence d'une zone réglementée¹ = 5, d'une zone à inventaire = 3 / Absence = 0
- Présence d'un habitat prioritaire = 5 / Absence = 0

(¹ Réserve naturelle, site inscrit, site classé, ZSC)

Puis pour chaque habitat, on s'intéresse aux indicateurs suivants :

Présence d'espèces végétales patrimoniales : cet indicateur permet de mettre en évidence la présence d'espèces à fort intérêt patrimonial. On se base sur la liste des espèces potentiellement

présentes. La présence d'espèces protégées attribue la note 5, quel que soit leur nombre. Pour les espèces rares à assez rares, la notation se base sur le nombre d'espèces observées et leur rareté et ne prend pas en compte l'abondance des différentes espèces.

On s'intéresse pour la dune fixée, à la dune en elle-même ainsi qu'aux patches de dépressions humides qui peuvent être présents.

On distingue deux catégories dans les espèces patrimoniales :

- Les espèces protégées sur l'ensemble du territoire national en Annexe I (PN1) ou en Annexe II (PN2) ou protégées régionalement en Languedoc-Roussillon (PR)

Les espèces rares ou assez rares (espèces déterminantes ZNIEFF, Livre rouge de la flore menacée de France, tome 1 et 2)

Notation :

- Présence d'au moins une espèce protégée nationalement ou régionalement = 5 / Absence = 0
- Présence d'espèces rares ou assez rares

→ Pour le haut de plage : Présence = 1 / Absence = 0

→ Pour la dune embryonnaire : Présence d'une espèce = 1 / Présence de 2 espèces = 2 / Présence de 3 espèces = 3

→ Pour la dune vive : Présence d'une espèce = 1 / Présence de 2 espèces = 2 / Présence de 3 espèces ou plus = 3

→ Pour la dune fixée : Présence de 1 à 3 espèces = 1 / Présence de 4 à 6 espèces = 2 / Présence de 7 espèces ou plus = 3 / Absence = 0

Remarque 1: Sur le littoral sableux, on peut trouver des espèces patrimoniales hors de leur habitat caractéristique. Leur présence doit cependant être signalée. Si une espèce recensée dans la liste ci-dessus est présente sur le site, il faut en tenir compte, même si elle est présente dans un habitat autre que son habitat de référence. La présence est notée dans la section correspondant à leur habitat théorique en notant dans le cadre « Observation » dans quel habitat on l'a observée sur le site.

Remarque 2 : noter la présence des patches de dépressions humides dans la dune fixée dans cadre « Observations ».

Espèces	Protection/rareté	Habitat
<i>Euphorbia pepelis</i>	PN2 - Lr1	Haut de plage
<i>Polygonum maritimum</i>	assez rare	
<i>Cyperus capitatus</i>	rare	Dune embryonnaire
<i>Echinophora spinosa</i>	assez rare	
<i>Polygonum robertii</i>	Lr2	
<i>Pseudorlaya pumila</i>	PN1 - Lr2	
<i>Calystegia soldanella</i>	assez rare	Dune vive
<i>Otanthus maritimus</i>	PR	
<i>Eryngium maritimum</i>	assez rare	
<i>Matthiola tricuspidata</i>	assez rare	
<i>Pancratium maritimum</i>	rare	
<i>Artemisia caerulescens L. subsp gallica</i>	Lr2	Dune fixée
<i>Asparagus maritimus</i>	rare	
<i>Camphorosma monspeliaca</i>	rare	
<i>Crucianella maritima</i>	Lr2	
<i>Cynanchum acutum</i>	Lr2	
<i>Daucus carota subsp maritimus</i>	rare	
<i>Dianthus pyrenaicus subsp attenuatus</i>	rare	
<i>Echium arenarium</i>	rare	
<i>Echium sabulicola</i>	Lr2	
<i>Ephedra distachya</i>	rare	
<i>Euphorbia pithusa subsp pithusa</i>	rare	
<i>Euphorbia terracina</i>	PR - Lr2	
<i>Galium minutulum</i>	PR - Lr1	
<i>Hypocoum procumbens</i>	PR - Lr2	
<i>Imperata cylindrica</i>	rare	
<i>Iris spuria subsp maritima</i>	assez rare	
<i>Iris xiphium</i>	PN1 - Lr1	
<i>Juniperus phoenicea subsp turbinata</i>	rare	
<i>Loeflingia hispanica</i>	PN1 - Lr1	
<i>Limonium girardianum, ferrulaceum, legrandii, auriculifolium, cuspidatum, diffusum</i>	PN	
<i>Limonium bellidifolium, virgatum, companyonis, echioides</i>	rare	
<i>Malcolmia littorea</i>	assez rare	
<i>Malcolmia nana</i>	Lr2	
<i>Malcolmia ramosissima</i>	PR - Lr2	
<i>Onosma arenaria</i>	PR - Lr2	
<i>Rumex roseus</i>	Lr2	
<i>Spartina versicolor</i>	assez rare	
<i>Stachys maritima</i>	PR - Lr2	
<i>Teucrium dunense</i>	assez rare	
<i>Thymelaea hirsuta</i>	PR	

Figure 34 : Table de la liste des espèces patrimoniales par habitat

Diversité spécifique : permet d'évaluer la richesse du site en terme du nombre d'espèces caractéristiques du milieu dunaire présentes par habitat. On ne tient compte pour cet indicateur que des espèces caractéristiques du milieu dunaire, c'est-à-dire hors espèces rudérales, envahissantes, etc.

Notation : La note est attribuée selon le tableau ci-dessous.

Dans le cas où on rencontre des espèces patrimoniales hors de leur habitat théorique et que celui est absent sur le site, on attribue la note 0 à la diversité spécifique de cet habitat.

Note	1	2	3
Haut de plage	1-2	3-4	> 4
Dune embryonnaire	1-4	5-9	> 9
Dune vive	1-6	7-13	> 13
Dune fixée	1-16	17 - 33	> 33

Figure 35 : Notes attribuées à la diversité spécifique en fonction des classes de diversité pour chaque habitat

Pour finir, de la même façon que pour la grille d'évaluation de l'état de conservation, on fait la somme des notes obtenues pour chaque indicateur. Les intervalles sont calculés de la même manière, ce qui donne une note de valeur patrimoniale pour l'ensemble de l'unité dunaire évaluée :

1 - 15	FAIBLE à MOYEN
16 - 30	MOYEN à FORT
> 30	FORT à TRES FORT

Valeur patrimoniale

Zone réglementée, Inventaires scientifiques, Engagements internationaux		absence = 0, à inventaire = 3 réglementée = 5	
Présence d'habitat prioritaire au titre de la directive habitat	Arrière dune à <i>Juniperus</i> sp	absence = 0, présence = 5	
	ou Arrière dune à <i>Pinus pinea/maritimus</i>		
	ou Steppe salée méditerranéenne		
Végétation de haut de plage			
Espèces végétales patrimoniales	Protégées nationalement ou régionalement	absence = 0, présence = 5	
	Espèces assez rares	absence = 0, présence = 1	
Diversité spécifique		faible = 1	
		à forte = 3	
Dune embryonnaire			
Espèces végétales patrimoniales	Protégées nationalement ou régionalement	absence = 0, présence = 5	
	Espèces rares à assez rares	absence = 0, présence = 1 à 3	
Diversité spécifique		faible = 1	
		à forte = 3	
Dune vive			
Espèces végétales patrimoniales	Protégées nationalement ou régionalement	absence = 0, présence = 5	
	Espèces rares à assez rares	absence = 0, présence = 1 à 3	
Diversité spécifique		faible = 1	
		à forte = 3	
Dune fixée			
Espèces végétales patrimoniales	Protégées nationalement ou régionalement	absence = 0, présence = 5	
	Espèces rares à assez rares	absence = 0, présence = 1 à 3	
Diversité spécifique		faible = 1	
		à forte = 3	
		Total	
		FAIBLE à MOYEN	1 – 15
		MOYEN à FORT	16 - 30
		FORT à TRES FORT	> 30

Figure 36 : Grille d'évaluation de la valeur patrimoniale

B. Méthodologie d'évaluation des aménagements de protection

1. Définition préalable des ouvrages dunaires évalués

Les "aménagements dunaires" pris en compte dans cette évaluation sont ceux basés sur l'application de techniques "douces", visant à utiliser l'énergie des facteurs naturels pour aider l'écosystème dunaire à retrouver son équilibre, plutôt que d'essayer de lutter contre eux ; ils participent de la gestion morphologique (les volumes sableux), biologique (la végétation) et anthropique (la fréquentation) des espaces dunaires côtiers. Les aménagements évalués correspondent donc à des opérations dont l'objectif est la **reconstitution**, la **mise en valeur**, la **restauration** ou la **protection des dunes** :

- ✓ **apports sableux** de reconstitution d'un cordon dunaire ou de fermeture d'une brèche
- ✓ **maillages** (ganivelles,...) de piégeage ou de stabilisation du sable
- ✓ **végétalisation** dunaire (semis, boutures, plantations)
- ✓ **paillages** (géotextile biodégradable, gerbes de roseaux,...)
- ✓ **mise en défens** (clôture d'espaces sensibles)

Certains aménagements procédant de mise en œuvre ou de techniques similaires seront localisés mais leur "vocation non dunaire" les exclura de l'évaluation : ouvrages de lutte contre l'ensablement, merlons de protection des infrastructures,...

Chacun des aménagements recensés fera l'objet d'une évaluation à part entière ; s'ils sont multiples, similaires, proches sur un même site et issus de la même opération, ils seront **regroupés** avant d'être évalués comme un aménagement unique (exemple : aménagements interrompus par des accès-plage,...).

Du point de vue des dimensions, les aménagements d'emprise supérieure à **25 m de linéaire côtier** seront localisés et évalués. Les aménagements de dimension inférieure, s'ils peuvent être regroupés (cf. paragraphe précédent), le seront également ; en revanche, s'ils sont isolés, ils seront localisés mais non évalués.

Les aménagements récents (moins d'un an écoulé depuis leur mise en place) seront localisés mais non évalués, considérant qu'il serait trop tôt pour évaluer leur efficacité.

Enfin, les limites géographiques d'étude seront celles de **l'écosystème dunaire côtier** : depuis le haut de plage jusqu'à l'arrière-dune, sauf interruption non naturelle.

L'évaluation portera sur la **situation** des aménagements au moment de leur inventaire, et tentera de dégager leur **efficacité** (sur la base des résultats pouvant être atteints par les aménagements considérés) et leur **pertinence** (sur la base des objectifs attendus lors de leur mise en place). Elle s'appuiera sur une approche de terrain (photos aériennes et inspection visuelle des aménagements, consignée dans une fiche de terrain) et documentaire, en fonction des informations recueillies auprès des concepteurs, des réalisateurs et/ou des gestionnaires de ces aménagements. Trois informations constitueront l'essentiel de l'évaluation :

- ✓ **la situation** de l'aménagement : purement "terrain", cette première information fournira un diagnostic instantané des aménagements, en termes de dégradation (seuls les paillages, qui ont justement vocation à se dégrader, ne feront pas l'objet de cette partie de l'évaluation)
- ✓ **l'efficacité** de l'aménagement : en fonction des objectifs possibles à atteindre pour chaque type d'aménagement (cf. tableau ci-dessous), des résultats seront déterminés sur le terrain, permettant d'évaluer le degré d'efficacité des aménagements réalisés. Une pondération sera apportée en fonction de l'âge, considérant qu'il est plus normal (et donc mieux noté) pour un aménagement récent que pour un ancien de ne pas avoir encore atteint ses objectifs

objectif à atteindre	reconstitution dunaire	stabilisation dunaire	restauration d'habitats	gestion de la fréquentation
apport mécanique de sable	X			
maillage de ganivelles	X	X		
végétalisation		X	X	
paillage		X	X	
mise en défens			X	X

Figure 37 : Tableaux des objectifs possibles à atteindre pour chaque aménagement

- ✓ **la pertinence** de l'aménagement : cette dernière information, probablement la moins évidente à dégager, sera basée sur la conception et la réalisation de l'aménagement. Deux critères sont pris en compte ici : d'une part, il sera vérifié l'adéquation des aménagements avec la problématique du site au moment de leur mise en place (a-t-on retenu à l'époque la solution la plus pertinente ?) ; d'autre part, la qualité de réalisation des aménagements, si elle est connue et/ou visible, sera évaluée.

2. Évaluation de l'état des aménagements

état (sur 5 points)			
type d'aménagement	évaluation de l'aménagement		note
	critère (situation)	paramètre à évaluer	
apport de sable	morphologie	estimation de l'importance des formes de dégradation, notée de 1 (apport sableux très dégradé) à 5 (pas de formes de dégradation)	
maillage de ganivelles	état de l'ouvrage	état des constituants de l'ouvrage, noté de 1 (dégradé) à 5 (excellent état)	
mise en défens			
végétalisation	taux de survie ou recouvrement végétal	pourcentage de taux de survie ou de couvert végétal, ramené à une note de 1 à 5	

Figure 38 : Grille d'évaluation pour l'état des aménagements

Paramètres à évaluer pour les différents critères

Morphologie

L'état d'un apport sableux sera évalué en fonction des formes de dégradations observées : brèches (cordon dunaire interrompu), siffle-vent (simples entailles du cordon), caoudeyres (cavités généralement circulaires, de plusieurs mètres de diamètre), versants chaotiques (reliefs dunaires tourmentés). L'ampleur (dimensions, volumes ou nombre) de ces formes permettra de noter de 1 à 4 ces dégradations, la note de 5 étant réservée aux apports intacts.

Etat de l'ouvrage

L'évaluation de l'état d'un ouvrage prend en compte l'état des matériaux, des éléments le constituant. Un ouvrage très dégradé (note 1) n'est plus en mesure d'assurer le rôle qui lui a été attribué ; un ouvrage dégradé (notes 2 à 4) joue son rôle partiellement ou ne le joue plus mais peut plus ou moins facilement le retrouver ; un ouvrage en excellent état remplit parfaitement sa mission (note 5).

Il sera considéré que, si un ouvrage est ensablé à plus des trois/quarts, l'état des matériaux le constituant est bon, puisque l'ouvrage a pu fonctionner (piégeage sableux).

Taux de survie ou recouvrement végétal

Suite à une opération de végétalisation (plantations, boutures) la survie des individus implantés ou le couvert végétal seront analysés pour évaluer l'état de l'opération. Pour une opération inférieure à deux ans, le taux de survie des individus sera étudié. Sur une surface représentative du secteur traité (10 m²) les individus présents seront comptés en discernant les individus morts des individus vivants afin d'établir un pourcentage de survie. La notation s'effectuera comme suivant : 1 (taux de survie inférieur à 15%), 2 (taux de survie de 15 à 30%), 3 (taux de survie de 30 à 45%), 4 (taux de survie de 45 à 60%) et 5 (taux de survie de 60 à 80%).

Si l'opération a été réalisée plus de deux ans avant la date d'évaluation, c'est le recouvrement total qui sera l'objet de l'étude. En effet en conditions naturelles, des espèces vont venir coloniser spontanément la zone traitée, de plus les individus implantés pourront se reproduire et donc favoriser le développement de nouveaux individus, il deviendra donc difficile à ce stade de différencier les individus implantés des spontanés. On se basera donc sur l'estimation du recouvrement végétal total pour évaluer l'état de l'ouvrage. Cette estimation se fera en fonction du type d'habitat traité et sera basée sur les classes de recouvrement établies (II A. 3) proportionnellement à l'âge de l'ouvrage. On obtiendra donc une note de 1 à 5.

3. Évaluation de l'efficacité des aménagements

efficacité (sur 5 points)			
type d'aménagement	évaluation de l'aménagement		note
	critères (objectifs possibles)	paramètre à évaluer	
apport de sable	reconstitution dunaire	notes de 0 à 5 : 0 = pas de résultat constaté 1 à 4 = objectif partiellement atteint 5 = objectif atteint	
maillage de ganivelles	stabilisation du sable reconstitution dunaire		
mise en défens	gestion fréquentation restauration d'habitats		
végétalisation	restauration d'habitats stabilisation du sable		
paillage	stabilisation du sable restauration d'habitats		

Figure 39 : Grille d'évaluation pour l'efficacité des aménagements

Paramètres à évaluer pour les différents critères

Il s'agit ici d'évaluer l'efficacité d'un aménagement par rapport aux objectifs pouvant être atteints par le type d'ouvrage considéré, à l'instant t de l'évaluation. Ce critère sera basé sur les résultats observés sur le terrain et sera noté entre 0 (absence totale de résultat) et 5 (objectif totalement atteint). L'atteinte partielle des objectifs (notée de 1 à 4) pourra résulter d'une différence spatiale d'efficacité de l'ouvrage (objectif atteint qu'à certains endroits) ou être induite par son âge : il est logique qu'un ouvrage récent (moins de 2 ans) n'ait pas encore atteint son objectif ; pour un ouvrage ancien (plus de 10 ans) ceci est révélateur d'un dysfonctionnement.

Pour les aménagements comportant deux objectifs possibles, les deux critères correspondant seront évalués séparément sur 5, puis leur moyenne fournira une note globale d'efficacité de l'ouvrage.

Reconstitution dunaire

Un apport de sable ou un maillage de ganivelles seront considérés comme efficace s'ils permettent une reconstitution dunaire. Les paramètres d'évaluation d'une reconstitution dunaire

efficace (note 5) sont : la présence d'un bourrelet dunaire artificiel présentant les caractéristiques des systèmes dunaires avoisinants (forme typique, topographie), sans formes de dégradations marquées; une dune en cours de reconstitution ou présentant des formes de dégradations marquées sera notée entre 1 et 4, un apport sableux ou un maillage n'ayant pas mené à une reconstitution dunaire seront notés 0.

Stabilisation du sable

La stabilisation du sable sera évaluée sur le site par la proportion du couvert végétal total développé sur le secteur traité (couvert végétal spontané ou issu d'une végétalisation). La présence d'invasions sableuses anormales aux alentours de l'aménagement évalué pourra également servir d'indicateur pour ce critère. Une stabilisation notée 5 traduira la bonne efficacité d'un maillage de piégeage sableux, d'une opération de végétalisation ou d'un paillage.

Restauration d'habitats

La restauration d'un habitat sera mesurée par l'évaluation de l'état de son couvert végétal (recouvrement), de sa morphologie et de son cortège floristique en terme de diversité et de spécificité, par rapport à l'habitat-type correspondant (cf. évaluation de l'état de conservation, partie III A). Son évaluation indiquera le degré d'efficacité d'une mise en défens, d'une opération de végétalisation ou d'un paillage.

Gestion de la fréquentation

La maîtrise totale de la fréquentation (note 5) sera attestée par la présence d'un couvert végétal non fragmenté et l'absence de traces de passages sauvages. Ceci parallèlement à un ouvrage de mise en défens fonctionnel, permettant de soustraire efficacement au passage du public un espace dunaire.

Une note de 1 à 4 sera affectée lorsque la gestion de la fréquentation n'est pas effective : traces de passages sauvages, piétinement de la végétation ou ouvrage de mise en défens rendu peu fonctionnel par des actions humaines ou naturelles ; cette notation variera en fonction de la proportion d'ouvrages rendus peu/non fonctionnels ainsi que sur l'intensité de la dégradation du milieu dunaire. Lorsque les marques de dégradation du milieu par la fréquentation sont très importantes ou que l'ouvrage de mise en défens n'est plus du tout fonctionnel la note 0 sera attribuée.

4. Évaluation de la pertinence des aménagements

pertinence (sur 5 points)			
type d'aménagement	évaluation de l'aménagement		note
	critères	paramètres à évaluer	
apport de sable maillage de ganivelles mise en défens végétalisation paillage	adéquation entre l'aménagement et la problématique du site	de 0 = inadéquation à 3 = adéquation (1 et 2 : inadéquation partielle)	
	modalités de réalisation de l'aménagement (si connues ou visibles)	note de 0 à 2 pour la qualité de réalisation de l'aménagement	

Figure 40 : Grille d'évaluation pour la pertinence des aménagements

La pertinence des aménagements sera évaluée sur la base des objectifs attendus lors de leur mise en place. Pour chaque aménagement, les deux critères d'évaluation seront additionnés. Un poids plus important est volontairement donné ici pour l'adaptation de l'aménagement à la problématique du site par rapport au critère modalité de réalisation. Dans le cas où les modalités de réalisation sont ni visibles/ni connues la note de 1 (moyenne) sera affectée à l'ouvrage.

Paramètres à évaluer pour les différents critères

▪ Adaptation de l'objectif à la problématique du site

La notation pour ce critère sera de 0 (inadéquation complète) à 3 (adéquation totale de l'aménagement). L'inadéquation (note 0) vaudra pour un aménagement dont la conception sera mise en défaut (solution non adaptée au problème) : positionnement erroné, ouvrage non nécessaire. Les notes 1 et 2 vaudront pour des aménagements partiellement adéquats.

Apport sableux

L'aménagement sera considéré comme inadéquat (note de 0) si l'apport de sable réalisé n'était pas nécessaire (site à forte dynamique d'accrétion sableuse, hauteur et volumes en places suffisants) voire néfaste au fonctionnement naturel du site (hydraulique : fermeture d'un grau). Également, un apport sableux réalisé sans protection contre l'action éolienne érosive (maillage de ganivelles ou paillage) ou le piétinement, sera affecté d'une note de 1.

Maillage de ganivelles

L'ouvrage sera considéré comme partiellement adéquat (note 1 ou 2) si le nombre ou le positionnement des éléments qui le constituent n'est pas justifié, ou si les caractéristiques du site étaient peu favorables au piégeage sableux.

Mise en défens

L'aménagement sera considéré comme inadéquat si le mode de mise en défens choisi (ganivelles, clôture, lisse, etc...) ou ses caractéristiques (nombre d'accès, hauteur initiale de la mise en défens) ne sont pas adaptés à l'intensité et à la répartition de la fréquentation du site. Dans le cas d'une mise en défens mixte sur un même site (même opération d'aménagement), l'évaluation de l'adéquation se fera par secteurs différents puis une moyenne sera faite pour l'ensemble de l'ouvrage considéré.

Végétalisation

L'aménagement sera considéré comme inadéquat en cas d'utilisation d'espèces non adaptées par rapport à leur localisation sur le site (utilisation d'espèces hors de leur habitat de référence), d'utilisation d'espèces non dunaires. L'absence de mise en défens en accompagnement de la végétalisation induira une note de 1.

Paillage

Un paillage de phragmites sera considéré comme inadéquat si la quantité de phragmites choisie initialement a été mal évaluée (par exemple, épaisseur de la couverture trop importante ne permettant pas la colonisation végétale). Un paillage non accompagné d'une mise en défens sera affecté d'une note de 1 (l'expérience a montré qu'un aménagement de ce type sans protection contre l'intrusion du public était voué à l'échec).

▪ Modalités de réalisation

La notation pour ce critère sera de 0, 1 ou 2 en fonction de la qualité de réalisation de l'ouvrage.

Apport sableux

Si l'apport sableux est constitué de sédiments dont les caractéristiques ne correspondent pas à celles des sédiments présents sur le site (granulométrie, nature) la qualité de sa réalisation sera notée comme mauvaise, et la note variera en fonction de la proportion de sédiments corrects.

Mise en défens et maillage de ganivelles

Les modalités de mise en place des ouvrages serviront de paramètres d'évaluation (tension des lignes de ganivelles, enfoncement des pieux, choix des matériaux).

Végétalisation

Les paramètres ci-après feront baisser la note de réalisation de l'ouvrage : boutures sans système racinaire ou dont une portion du système racinaire se trouve à l'air libre, plants trop serrés, plantation réalisée hors de la période optimale (automne).

Paillage

Les modalités de réalisation seront considérées comme mauvaises si le paillage est mal ou non fixé, mal disposé, ou si les matériaux sont mal choisis.

IV. GLOSSAIRE

Brèche : ouverture transversale du cordon dunaire induite par des phénomènes d'érosion/submersion, caractérisée par une forte baisse topographique et une absence de végétation.

Chaméphyte : Selon la classification de Raunkiaer, végétal pérenne dont les bourgeons sont situés entre 10 et 50 cm du sol. Ces bourgeons sont protégés des fortes gelées par le manteau neigeux les recouvrant l'hiver durant les périodes de repos végétatif.

Ganivelles : barrières constituées de lattes de bois (le plus souvent du châtaigner) assemblées verticalement par des fils de fer galvanisés. L'espace qui sépare les lattes définit la "perméabilité" de la barrière. Traditionnellement il s'agit de châtaigner refendu manuellement, plus solide que des lattes sciées.

Géophyte : plante qui passe la période froide protégée par le sol, la partie aérienne meurt. Les bourgeons sont souterrains ainsi que les tiges souterraines qui peuvent être des rhizomes, des tubercules ou des bulbes.

Laisse de mer : algues, phanérogames marines, animaux morts, débris ou objets divers rejetés sur le littoral par le mouvement de la mer. Les algues en épaves présentes dans ces laisses de mer abritent de nombreux invertébrés détritovores: larves et adultes d'insectes, crustacés de la famille des talitridés («puces de mer»). Ces débris naturels permettent le développement d'espèces végétales responsable d'une première phase de fixation du sable et représentent une source de nourriture pour les oiseaux, voire même un lieu de nidification et de ponte pour le Gravelot à collier interrompu.

Recouvrement végétal : rapport entre l'aire de la projection sur le plan horizontal d'un élément de végétation et l'aire totale de la station

Rudéral : qui croît dans les décombres, les friches ou les sites perturbés

Sansouire : pré salé méditerranéen

Synusie : association végétale homogène du point de vue de sept critères : floristique, spatial, des types biologiques, phénologique, dynamique, du biotope et morphologique. Pour être considérée comme une synusie, la réalisation d'un seul critère n'est pas suffisante mais la réalisation de tous n'est pas nécessaire.

Thérophyte : plante qui passe l'hiver à l'état de graine, l'ensemble de la plante meurt pendant cette période.

V. BIBLIOGRAPHIE

Ecologie des systèmes dunaires

- ❖ ARAUJO R., HONORADO J., GRANJA H. M., NEVES DE PINTO S., BARRETO CALDA F., 2002. Vegetation complexes of coastal sand dunes as an evaluation instrument of geomorphologic changes in the coastline. Littoral 2002, The changing coast: 337-339. EUROCOAST/EUCC, Porto-Portugal : 337-339.
- ❖ BASTIDE B., 1984. Les dunes intérieures de l'Espiguette et leur végétation ligneuse. Mémoire pour le diplôme d'écologie générale et appliquée, option écologie terrestre, Univ. Des Sciences et Techniques du Languedoc, Montpellier. 20 pages.
- ❖ BAUDIERE A. et SIMONNEAU P., 1971. La dune suspendue du rocher de Leucate. Colloques phytosociologiques. La végétation des dunes maritimes, 1971. Pages 99-105.
- ❖ BAUDIERE A. et SIMONNEAU P., 1971. Les dunes basses à *Spartina versicolor* du Grau de la Vieille-Nouvelle. Colloques phytosociologiques. La végétation des dunes maritimes, 1971. Pages 107-115.
- ❖ BAUDIERE A. et SIMONNEAU P., 1971. Influence des vents dans l'édification du modèle dunaire sur le cordon littoral roussillonnais au sud de l'embouchure de la Tet. Colloques phytosociologiques. La végétation des dunes maritimes, 1971. Pages 225-236.
- ❖ BAUDIERE A., SIMONNEAU P., 1968. Etude phytosociologique du cordon littoral de Barcarès-Leucate. Pages 12-47.
- ❖ BIORET F., 2002. La bioévaluation, outil d'aide à l'aménagement. Vol 2 Trav. Sci. HDR. Univ Bretagne Occidentale. 129 pages.
- ❖ BIOTOPE, PERPIGNAN MEDITERRANEE COMMUNAUTE D'AGGLOMERATION, 2005. Documents d'objectifs de la Zone Spéciale de Conservation « Complexe lagunaire de Canet Saint- Nazaire ». 263 p.
- ❖ BISSARDON M., GUIBAL L., RAMEAU J.-C., 1997. CORINE Biotopes, Types d'habitats français. ENGREF & Atelier Technique des Espaces Naturels. 174 p.
- ❖ BOURNERIAS M., POMEROL C., TURNIER Y. (1992) - La Méditerranée de Marseille à Banyuls, Languedoc Roussillon. Ed° Delachaux et Nie stle, 178 pp.
- ❖ BRAUN-BLANQUET J., 1952. Les Groupements végétaux de la France méditerranéenne. CNRS. 297 pages.
- ❖ COLOMBINI I., FALLACI M., CHELAZZI L., 2002. Baseline research for the integrated sustainable management of Mediterranean sensitive coastal ecosystems. IAO : 109-119. Felicita Scapini Eds.
- ❖ CORRE J.-J. Etude de la végétation du littoral languedocien d'Agde à Palavas. 6 pages
- ❖ CORRE J.-J., 1987. Les peuplements végétaux et la gestion des côtes basses du Golfe du Lion. Bulletin écologique, t.18, 2, 1987, pages 201-208.
- ❖ CORRE J.-J., RIOUX J.-A. Recherches phytoécologiques sur les milieux psammiques du littoral méditerranéen français. Oecol. Pant. Gauthier-Villars, IV, 9 pages 177-194.
- ❖ CORRE J.-J., 1984. La végétation littorale des environs de Montpellier. Laboratoire De systématique et écologie méditerranéennes – Institut de botanique – Univ. De Montpellier 2. 31 pages.
- ❖ CORRE J.-J., 1975. Etude phyto-écologique des milieux littoraux salés en Languedoc-Roussillon et en Camargue. Thèse présentée à l'Université des Sciences et Techniques du Languedoc le 19 avril 1975.
- ❖ CORRE J.-J., 1971. Etude d'un massif dunaire le long du littoral méditerranéen, structure et dynamisme du milieu et de la végétation. Colloques phytosociologiques. La végétation des dunes maritimes, 1971. Pages 201-224.

- ❖ DE FOUCAULT B., JULVE P., 1991. Données phytosociologiques sur la dix-septième session de la S.B.C.O en Languedoc-Roussillon; réflexions sur les associations arborescentes méditerranéennes. Bulletin de la société botanique du Centre-Ouest, Nouvelle série, Tome 22-1991. P 391-420.
- ❖ DURAND P., HEURTEFEUX H., 2006. Impact de l'élévation du niveau marin sur l'évolution future d'un cordon littoral lagunaire : une méthode d'évaluation ; exemple des étangs de Vic et de Pierre Blanche (littoral méditerranéen, France), Zeitschrift fur Géomorphologie, 50 (2) : 221-243.
- ❖ ECOLOGISTES DE L'EUZIERE. Ecolodoc : Sur la plage abandonnés... (les laisses de mer en Méditerranée), 1995.
- ❖ ELISSALDE-VIDEMENT L., HORELLOU A., HUMBERT G., MORET J., 2004. Guide méthodologique sur la modernisation et l'inventaires des zones naturelles d'intérêt écologique, faunistique et floristique. Mise à jour 2004. Coll. Patrimoines Naturels. MNHN, Paris.74 p.
- ❖ FAVENNEC J., 2002. The foredune/backshore system, an indicator of coast-al dynamics. The example of the " Aquitaine Coast Observatory". Littoral 2002, The changing coast, EUROCOAST/EUCC, Porto-Portugal : 245-353.
- ❖ FAVENNEC J., MOULIS D., PASKOFF R. 2001. Programme National de recherche "Recréer la nature". Synthèse des recherches en restauration réhabilitation des systèmes dunaires. Coord. Moulis D., Eid Med. 36 p.
- ❖ FEVRIER G., 2002 Grille d'évaluation de l'état de conservation des dunes littorales non boisées du littoral girondin. In Connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique, Coord. J. Favennec, Ed Les dossiers forestiers ONF : 286-293.
- ❖ GEHU J.-M., BIONDI E., GEHU-FRANCK J., COSTA M., 1989. Interprétation phytosociologique actualisée de quelques végétations psammophiles et halophiles de Camargue. Colloques phytosociologiques. Végétation et qualité de l'environnement côtier en Méditerranée, 1989. Pages 103-131.
- ❖ GEHU J.-M., BOURNIQUE C.P., 1989. Interprétation phytosociologique actualisée et comparative des vestiges de végétation du cordon littoral entre Sète et Agde. Colloques phytosociologiques. Végétation et qualité de l'environnement côtier en Méditerranée, 1989. Pages 133-146.
- ❖ GIGLEUX I., 1983. Structure de la végétation de deux milieux littoraux languedociens. Rapport de stage présenté le 7 octobre 1983 pour le diplôme d'Etudes Approfondies d'Ecologie Générale et Appliquée. 38 pages.
- ❖ Groupe d'Etude des Invertébrés Armoricaains (GRETIA). Appel à participation : inventaire des invertébrés continentaux des plages bas-normandes.
- ❖ GUYONNEAU J., 2004. Inventaire et cartographie des habitats naturels et semi-naturels en Franche-Comté. Définition d'un cahier des charges. Cons.Botanique.Franche-Comté. DIREN Franche-Comté.24 p.
- ❖ HARANT H., JARRY D., 1974. Guide du Naturaliste du midi de la France. I La mer, le littoral. Ed Delachaux et Niestlé. 290 p.
- ❖ HEKKING WHA., 1960. Un inventaire phytosociologique des dunes de la côte méditerranéenne français entre Carnon et le Grau-du-Roi. Station Inter. De Géobotanique Méditerranéenne et Alpine, Montpellier, Communication n°149. Pages 516-532.
- ❖ HEURTEFEUX H., RICHARD P., 2005. Vingt ans de protection des dunes littorales par des techniques douces : bilan et perspectives à travers quelques exemples en Méditerranée française. In Milieux littoraux : Nouvelles perspectives d'étude : 143-166, Ed l'Harmattan.
- ❖ Institut des Aménagements Régionaux et de l'Environnement, 1982. Impact des aménagements en milieu dunaire – Etude des dunes du Languedoc-Roussillon.
- ❖ JAULIN S., SOLDATI F., 2005. Les dunes littorales du Languedoc-Roussillon. Guide méthodologique d'évaluation de leur état de conservation à travers l'étude des cortèges spécialisés de Coléoptères. DIREN LR et OPIE LR, 2005. 58 pages.

- ❖ JEDRZEJCZAK M. F., 2004 Sandy Coastline Ecosystem Management – Bridging sustainability and Productivity of Sandy Beaches. Knowledge Marketplace Reports. The 3rd UICN World conservation congress, Thailand : 1-8.
- ❖ JOLINON J.-C., LE BRETON A.-M., 1983. Le milieu dunaire dans le Languedoc. Compte rendu des séances de la société de Biogéographie. 18 pages.
- ❖ JOLINON J.-C., 1986. Inventaire des milieux naturels des dunes du bassin méditerranéen. Laboratoire de Phanérogamie, Paris. 44 pages.
- ❖ JUN R., 2005. Les mousses et les lichens des dunes grises atlantiques : Caractéristiques structurales, Dynamique et Typologie fonctionnelle des communautés. Thèse de doctorat. Univ. Rennes 1.185 p.
- ❖ KUHNHOLTZ LORDAT G., 1923. Les dunes du Golfe du Lion (Essai de Géographie Botanique). Presse Universitaire de France, 1923. 307 pages.
- ❖ LEMAUVEL S., GALLET S., ROZE F., 2003. Sustainable management of fixed dunes : example of a pilot site in Brittany (France). C.R.Biologies 326 : 183-191.
- ❖ LAHONDERE C., 1991. Première journée : mardi 10 avril 1990 : Flore et végétation des abords des étangs de Salses, de Leucate et de la Palme. Bulletin de la Société Botanique du Centre Ouest, Nouvelle série, tome 22, 1991. Pages 335-341.
- ❖ LAHONDERE C., 1991. Deuxième journée : mercredi 11 avril 1990 : La côte au sud du Barcarès. Bulletin de la Société Botanique du Centre Ouest, Nouvelle série, tome 22, 1991. Pages 335-341.
- ❖ Ministère de l'Environnement, SRETIE/INNO. Plages et dunes du golfe du Lion : analyse des milieux et fonctionnement. Protection et restauration des ouvrages légers. Décembre 1988. Pages 31-38.
- ❖ MOULIS D., BARBEL P., 1999. Réhabilitation et gestion des dunes littorales méditerranéennes françaises. Editions BRGM. Pages 75-91.
- ❖ PARISOD C., BAUDIERE A., 2006. Flore du littoral sableux : description et conservation de la plage roussillonnaise en tant que théâtre écologique de l'évolution. Bull. Soc. vaud. Sc. nat.90.1 :47-62.
- ❖ Phytosociologie des dunes de Carnon
- ❖ Etude de 2 sites : lido de Mauguio-Carnon et lido de Maguelone
- ❖ Relevés de végétation le long de transects perpendiculaires à l'axe du cordon dunaire
- ❖ PALMER M. LINDE M., PONS G. X., 2004. Correlation patterns between invertebrate species composition and the presence of an invasive plant. Acta oecologica 26 : 219-226.
- ❖ PASKOFF R., 1998. Les littoraux. Impact des aménagements sur leur évolution. Armand colin Ed. 260 p.
- ❖ PIGNATTI S., 1959. Développement du sol et de la végétation sur la plage de Carnon (Languedoc). Estr. Da Delpino, nuova serie, vol. 1, 1959. pages 70-97.
- ❖ PIOTROWSKA H., 1964. Les groupements végétaux des dunes méditerranéennes entre Montpellier et Narbonne. Bulletin de la société des amis des sciences et des lettres de Poznan. Pages 65-82.
- ❖ RICHARD P., 2002. Apport de la phytosociologie pour le suivi et l'évaluation des dunes littorales non boisées. In Connaissance et gestion durable des dunes de la côte atlantique, Coord. J. Favennec, Ed Les dossiers forestiers, ONF 11 : 265-268.
- ❖ SIMONNEAU P., 1966. Les grands ensembles écologiques de l'Aude. Le lido submersible. 1966. 19 pages.
- ❖ TEN HARKEL M. J., VAN DER MEULEN F., 1995. Impact of grazing and atmospheric nitrogen deposition on the vegetation of dry coastal dune grasslands. Journal of Vegetation Science 6 : 445-452.

- ❖ TZATZANIS M., WRBKA T., SAUBERER N., 2003. Landscape and vegetation responses to human impact in sandy coasts of Western Crete, Greece. *J. Nat. Conserv.* 11 : 187-195.
- ❖ VIVES P. T., 1996. Suivi des zones humides méditerranéennes. Guide méthodologique Medwet.
- ❖ ZARZYCKI K., 1961. Etude sur la végétation des dunes anciennes en Petite Camargue. Station Inter. De Géobotanique Méditerranéenne et Alpine, Montpellier, Communication n°158. pages 577-610.
- ❖ ZEEVALKING H. J., FRESCO L.F.M., 1977. Rabbit grazing and species diversity in a dune area. *Plant Ecology* 35 (6):193-196.

Ouvrages de référence

- ❖ BENSETTITI F., BIORET F., ROLAND J. & LACOSTE J.-P. (coord.), 2004. « Cahiers d'habitats » Natura 2000. Connaissance et gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Tome 2 - Habitats côtiers. MEDD/MAAPAR/MNHN. Éd. La Documentation française, Paris, 399 p.
- ❖ Conseil Régional LR. Guide méthodologique de gestion des lagunes méditerranéennes. Tome 2, Les espèces.
- ❖ CORINE BIOTOPE, Cahiers d'habitats
- ❖ DIREN Languedoc-Roussillon. Catalogue régional des mesures de gestion des habitats et des espèces d'intérêt communautaire. Type lagunes littorales. DIREN, 2007. 274 pages.
- ❖ HARANT H., JARRY D., 1974. Guide du naturaliste dans le midi de la France. Tome 1 La mer, le littoral.
- ❖ MNHN, 2004. Prodomes des végétations de France. Publications Scientifiques du Museum National d'Histoire Naturelle. Paris, 2004.
- ❖ BARDAT J., BIORET F., BOTINEAU M., BOULLET V., DELPECH R., GEHU J.-M., HAURY J., LACOSTE A., RAMEAU J.-C., ROYER J.-M., ROUX G., TOUFFET J., 2004. Prodomes des végétations de France. MNHN, Paris 171 p. (Patrimoines naturels, 61).
- ❖ La côte sableuse du Golfe du Lion, 1962. Numéro spécial des Annales de la Société d'Horticulture et d'Histoire Naturelle de l'Hérault. Fascicule 2

Aménagement/ouvrages de protection (Références autre que EID)

- ❖ Actions de protection et de restauration des systèmes littoraux, les dunes du petit et grand travers, commune de Mauguio, à Carnon, les objectifs, les ouvrages réalisés, le bilan de l'opération, CEPREL/EID, novembre 1987.
- ❖ Commune de Mauguio-Carnon, protection et aménagement durable du lido du Petit Travers, diagnostic du site et de son fonctionnement, URBANIS, mai 2004.
- ❖ Etude de l'évolution et possibilités de protection de la zone littorale de la réserve naturelle du Mas Larrieu, CEPREL / CELRL, novembre 1995.
- ❖ Etude générale pour la protection et l'aménagement durable du lido de Sète à Marseillan, synthèse générale, BCEOM, décembre 2001. 116 p.
- ❖ Etude générale pour la protection et la mise en valeur du littoral des communes de Frontignan-La-Peyrade et de Villeneuve les Maguelone, Phase 3, Plan directeur, BCEOM, février 2005. 159 p.
- ❖ Etude pour la protection du littoral de la Têt à l'Agly, BRL/EID, août 2006.
- ❖ Evolution récente d'un cordon dunaire en cours de restauration : le cas des Orpellières, J.-P. Pot, Université Lumière Lyon 2, juin 1999.
- ❖ Le littoral de Vendres et de Fleury, dynamique des milieux et propositions d'aménagement, CEPREL/CELRL, mars 1989. 29 p.
- ❖ Lido de Maguelone, état des ouvrages existants, état du lido, novembre 2000. CG 34, 2000.

- ❖ Littoral d'Agde, protection du littoral au droit de la Tamarrissière, CEPREL/SOGREAH, juillet 1992.
- ❖ Lutte contre l'érosion d'un littoral sableux méditerranéen par des ouvrages légers : lido de Carnon (Hérault - France), CEPREL/CG 34, août 1990.
- ❖ Rapport de suivi du littoral et des ouvrages de réhabilitation – département de l'Hérault, CEPREL/CG 34, 1990-1991.
- ❖ Plage de Vendres, analyse de son fonctionnement, propositions d'actions de restauration, bilan des opérations effectuées, CEPREL/EID, décembre 1987.

Aménagement/ouvrages de protection (Références EID)

- ❖ Commune de Canet-en-Roussillon, novembre 2008. Plage nord. Réhabilitation du cordon dunaire. Dossier de consultation des entreprises. Phase 2.
- ❖ Commune de Mauguio-Carnon, septembre 2008. Réhabilitation du cordon dunaire des Travers : lieux-dits PK 1.6 et Robinson-ouest. CCTP.
- ❖ Commune de Mauguio-Carnon., août 2009. Accessibilité aux plages - Tranche n°2 : plage des Travers – gestion de la fréquentation.
- ❖ Commune de Vias, Plage Est, réhabilitation du cordon dunaire – propositions de protection et d'aménagement – Septembre 2002.
- ❖ Conseil Général de l'Hérault, mai 2007. Guide méthodologique. Rapport de phase B, sous projet Posidune, mesure 3.4 du programme Beachmed-e.
- ❖ Conseil Général de l'Hérault, février 2009. Suivi photographique terrestre du littoral de l'Hérault.
- ❖ Conservatoire de l'espace littoral et des rivages lacustres, octobre 2008. Les cabanes de Fleury (Aude). Risques côtiers et scénarii d'aménagement.
- ❖ Cordon dunaire de Vendres - Diagnostic environnemental et orientations d'aménagement et de gestion. Juin 2004.
- ❖ Evolution du littoral agathois. Suivi 2001, pour la commune d'Agde. Novembre 2002.
- ❖ Evolution du littoral agathois. Suivi 2002, pour la commune d'Agde. Janvier 2003.
- ❖ Mutualisation des techniques de protection des dunes et suivi de la végétation. Rapport de phase B, sous projet Posidune, mesure 3.4 du programme Beachmed-e – Conseil Général de l'Hérault. Mai 2007.
- ❖ Orientations stratégiques pour la gestion de l'érosion en Languedoc-Roussillon, en collaboration avec le SMNLR et BRL pour le compte de la Mission Littorale. Juin 2003.
- ❖ Plage nord. Réhabilitation du cordon dunaire. Dossier de consultation des entreprises. Décembre 2007. Commune de Canet-en-Roussillon
- ❖ Plage nord - Réhabilitation du cordon dunaire – Dossier de projet. Commune de Canet en Roussillon. Octobre 2007.
- ❖ Plage nord - Réhabilitation du cordon dunaire – Dossier d'avant-projet détaillé. Commune de Canet en Roussillon. Septembre 2007.
- ❖ Plage du camping naturiste, réhabilitation du cordon dunaire - Commune d'Agde. Mai 2005.
- ❖ Protection du littoral de Villeneuve-les-Maguelone. Avant-projet. Commune de Villeneuve-les-Maguelone et Conseil Général de l'Hérault. Juillet 2006.
- ❖ Protection du littoral de la plage nord – Commune de Canet-en-Roussillon. Juin 2006.
- ❖ Protection et aménagement durable du lido de Sète à Marseillan : restauration et gestion du cordon dunaire (étude-projet ; dossiers de consultation des entreprises) – Communauté d'Agglomération du Bassin de Thau. Mai 2006.
- ❖ Protection et restauration du cordon dunaire des Travers. Phase II : stabilisation des parties internes du cordon dunaire - Commune de Mauguio-Carnon. Décembre 2005.

- ❖ Protection et aménagement durable du lido de Sète à Marseillan - Etude d'avant-projet : restauration et gestion du cordon dunaire (analyse diagnostic, propositions d'aménagement) - Communauté d'Agglomération du Bassin de Thau. Septembre 2005.
- ❖ Protection et restauration du cordon dunaire des Travers - Commune de Mauguio-Carnon. Mars 2005.
- ❖ Protection et restauration du cordon dunaire des Orpellières - Commune de Sérignan. Mars 2005.
- ❖ « Plages oubliées », Proposition pour la mise en protection d'un cordon dunaire pour le CG 34 et la commune de Portiragnes. Mars 2002.
- ❖ Proposition pour la réhabilitation d'un cordon dunaire, commune d'Agde – SNPN, Mars 2002
- ❖ Proposition pour la réhabilitation de deux sites dunaires sur les communes de Portiragnes et de Vias.
- ❖ Réhabilitation du cordon dunaire du Grau du Roi, octobre 2002.
- ❖ Réhabilitation du Lido de Canet en Roussillon (1 - phase expérimentale) – Perpignan-Méditerranée Communauté d'Agglomération. Juin 2006.
- ❖ Réhabilitation du Lido de Canet en Roussillon (1 – rapport de suivi) – Perpignan-Méditerranée Communauté d'Agglomération. Septembre 2006.
- ❖ Réhabilitation du Lido de Canet en Roussillon (2 et 3 – étude-projet) – Perpignan-Méditerranée Communauté d'Agglomération. Octobre 2006.
- ❖ Schéma global de protection des cordons dunaires, pour la commune d'Agde. Décembre 2002.
- ❖ Secteur du Mouret : mise en défens des espaces dunaires - Plan d'implantation ; note technique. Expertise pour la mairie de Leucate (11). Juin 2008
- ❖ Suivi morphologique et écologique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde, pour la Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée. Novembre 2004.
- ❖ Suivi écologique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde – Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée. Janvier 2006.
- ❖ Suivi morphologique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde – Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée. Janvier 2006.
- ❖ Suivi morphologique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde. Année 2006 – Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée. Janvier 2007.
- ❖ Suivi écologique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde. Année 2006 – Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée. Janvier 2007 ;
- ❖ Suivi morphologique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde. Année 2007 – Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée. Mai 2008.
- ❖ Suivi écologique du littoral de Portiragnes, de Vias et d'Agde. Année 2007 – Communauté d'Agglomération Hérault-Méditerranée. Mai 2008.
- ❖ Site des Orpellières, Remise en état du cordon dunaire. Bilan et réflexion portant sur le programme des travaux de l'hiver 83-84. Propositions sur le programme futur, P. Barbel, 1984.
- ❖ Végétalisation expérimentale des cordons dunaires du littoral héraultais. Programme de l'année 2000 et premiers résultats sur l'année 2001-2002, pour le Conseil général de l'Hérault et le Conservatoire de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres. Novembre 2002.

VI. TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Coupe schématique type d'une dune littorale dans le Languedoc.....	4
Figure 2 : Photographie de végétation de haut de plage (Vendres, 34).....	5
Figure 3 : Photographie de dune embryonnaire (Agde, 34).....	5
Figure 4 : Photographies de dune vive (à gauche : Grau-du-Roi, 30, à droite : Sérignan, 34)	6
Figure 5 : Photographie d'une dune fixée (Sète, 34).....	7
Figure 6 : Photographie d'une arrière dune à <i>Juniperus phoenicea</i> (Grau-du-Roi, 30)	8
Figure 7 : Photographies d'arrière dune à pins (Grau-du-Roi, 30).....	8
Figure 8 : Photographie d'une dépression humide (Leucate, 11)	9
Figure 9 : Table des références d'habitats naturels dunaires (haut de plage, dune embryonnaire et dune vive)	10
Figure 10 : Table des références d'habitats naturels dunaires (dune fixée, dépression humide) .	10
Figure 11 : Table des références d'habitats naturels dunaires (dunes à Genévriers, dunes boisées et steppe à <i>Limonium</i>)	11
Figure 12 : Table des données granulométriques entre Argelès-sur-Mer et le pied du massif de la Clappe	12
Figure 13 : Photographie de la Flèche de la Gracieuse (13), talutage mécanique des versants du bourrelet sableux, corps de la future dune.....	14
Figure 14 : Photographies de la Flèche de la Gracieuse (13), vue aérienne de l'ouvrage en cours de réalisation (à gauche) ; détail de l'extrémité (à droite).....	14
Figure 15 : Photographie de la Flèche de la Gracieuse (13), vue de l'ouvrage ; ensablement des casiers de ganivelles et colonisation par la végétation en façade terrestre.....	15
Figure 16 : Photographie de la Flèche de la Gracieuse (13), vue de l'ouvrage ; forts volumes sableux sans végétation	15
Figure 17 : Photographie de la plage de Madhia (Tunisie), vue d'un des ouvrages réalisés	16
Figure 18 : Photographie de la plage de Madhia (Tunisie), même ouvrage que précédemment, trois ans après les travaux	17
Figure 19 : Photographie des Orpellières (34), vue de l'ouvrage, quelques années après sa mise en place	18
Figure 20 : Photographies des dunes du Grau du Roi (30), paillage du revers d'un cordon dunaire reconstitué et gerbe de <i>Phragmites australis</i>	19
Figure 21 : Photographies des dunes du Grau du Roi (30), colonisation du paillage par la végétation entre 2005 (à gauche) et 2007 (à droite)	19
Figure 22 : Photographie de la dune du Grau du Roi (30), paillage intact	20
Figure 23 : Photographie d'un paillage mis en place sur un sentier sauvage, Portiragnes (34) ...	20
Figure 24 : Photo 26 : Colonisation du géotextile par <i>Calystegia soldanella</i> , Portiragnes (34).....	20
Figure 25 : Photographies du site ayant bénéficié de l'opération de végétalisation, Le Grand Travers (34)	21
Figure 26 : Photographie d'un panneau de sensibilisation du public, installé aux débouchés de chaque accès piétonnier, Canet-en-Roussillon (66).....	23
Figure 27 : Photographie d'un accès encadré par deux lignes de ganivelles avec géotextile de protection, Canet-en-Roussillon (66)	23

Figure 28 : Photographies d'un ancien passage sauvage (à gauche) mis en défens (à droite), Canet-en-Roussillon (66).....	23
Figure 29 : Classes d'estimation de la continuité du peuplement.....	26
Figure 30 : Classes d'estimation du recouvrement végétal	27
Figure 31 : Notation du recouvrement en fonction de l'habitat	27
Figure 32 : Tableau des espèces végétales caractéristiques des habitats dunaires.....	28
Figure 33 : Grille d'évaluation de l'état de conservation.....	30
Figure 34 : Table de la liste des espèces patrimoniales par habitat	32
Figure 35 : Notes attribuées à la diversité spécifique en fonction des classes de diversité pour chaque habitat	33
Figure 36 : Grille d'évaluation de la valeur patrimoniale.....	34
Figure 37 : Tableaux des objectifs possibles à atteindre pour chaque aménagement	36
Figure 38 : Grille d'évaluation pour l'état des aménagements	36
Figure 39 : Grille d'évaluation pour l'efficacité des aménagements	37
Figure 40 : Grille d'évaluation pour la pertinence des aménagements	38