

Le dépérissement de la végétation en bordure du littoral

Linda Stammiti

▶ **To cite this version:**

Linda Stammiti. Le dépérissement de la végétation en bordure du littoral. 131 p., 1992. hal-02847438

HAL Id: hal-02847438
https://hal.inrae.fr/hal-02847438

Submitted on 7 Jun 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

SERVICE TECHNIQUE DE L'URBANISME

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement
Région Nord-Pas-de-Calais
4, Rue Gombert
59041 LILLE CEDEX

Le dépérissement de la végétation en bordure du littoral

// Document de travail // Document de travail // Document de travail //

2.42
50.92

Arche de La Défense - 92055 Paris La Défense cedex 04
Tél. [1] 40 81 21 22 - Telex 610835 F - Fax [1] 40 81 15 99

Ministère de l'Equipement du Logement, des Transports et de l'Espace

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT
Délégation Régionale à l'Architecture et à l'Environnement
Région Nord-Pas-de-Calais
4, Rue Gombert
59041 LILLE CEDEX

Le dépérissement de la végétation en bordure du littoral

Etude de synthèse réalisée par Linda STAMMITTI, INRA, Centre de Recherches Forestières, Laboratoire d'Etude de la Pollution Atmosphérique, CHAMPENOUX, 54280 SEICHAMPS.

Coordination : C. DESCHAMPS (STU)

- JAN. 1992

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer ici mes plus vifs remerciements aux personnes et organismes pour leur collaboration à l'enquête menée au cours de cette étude. Il s'agit de l'Office National des Forêts avec en particulier Monsieur Guyon (Section Technique Inter-Région Ouest) pour sa disponibilité et ses connaissances concernant la situation du dépérissement du pin maritime sur la côte atlantique, Monsieur Lavagne professeur à Marseille en ce qui concerne le dépérissement des végétaux sur le littoral méditerranéen, Monsieur Du Merle (INRA Avignon) pour les problèmes phytosanitaires, Monsieur Guettier du Secretariat d'Etat à l'Environnement (Direction de l'Eau et de la Prévention de la Pollution et des Risques), Monsieur Garrec (Directeur du Laboratoire d'Etude de la Pollution Atmosphérique, INRA) pour m'avoir permis de faire cette étude et pour ses conseils, Monsieur Deschamps (STU) pour son aide à la rédaction du rapport, les Conservatoires de l'Espace Littoral et des Rivages Lacustres, l'INRA, les DDAF, DDE, DRAE, le Département Santé des Forêts, les SRPV.

SOMMAIRE

LE DEPERISSSEMENT DES VEGETAUX EN BORDURE DU LITTORAL

Pages

INTRODUCTION 8

1ère PARTIE : LES CONTRAINTES RENCONTREES PAR LES VEGETAUX EN BORDURE DU LITTORAL. 12

A-L'EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES COTES FRANCAISES 13

1). L'évolution morphologique des falaises 13

2). L'évolution morphologique des plages 15
2.1). La construction des plages
2.2). L'érosion des plages
2.2.1). L'élévation du niveau de la mer
2.2.2). Les facteurs anthropiques de l'érosion

B-LES CONDITIONS EDAPHIQUES: 19

1). Le sable un substrat mobile 19
1.1). Le transport du sable par le vent
1.2). Le transport du sable par la mer

2). La texture et la composition du sable 21
2.1). La texture du sable
2.2). La composition des sables dunaires
2.2.1). Le calcaire
a). Le calcaire actif et inactif
b). Le calcaire et l'alcalinité des sables
2.2.2). Le sel
2.2.3). La matière organique

3). L'eau dans les dunes 26
3.1). L'eau de capillarité
3.1.1). La réserve d'eau utilisable par les végétaux
3.1.2). Les variations du taux d'humidité dans la dune
3.1.3). La perméabilité des sables dunaires
3.2). Les nappes d'eau douce souterraines

C-LES CONDITIONS CLIMATIQUES : 29

1). les embruns salés 29
1.1). Les effets directs des embruns salés
1.2). Les effets indirects des embruns salés

2). le vent 31

3). l'hygrométrie 32

D-LES FACTEURS ANTHROPOGENES : 33

1). Les agressions dues à la fréquentation de ces milieux 33

2). La mauvaise gestion de ces milieux 34

3). Origines et sources de pollution 35
3.1). La pollution liée à l'eau
3.1.1). Les fleuves
3.1.2). La pluie
3.1.3). Les courants marins
3.2). La pollution liée à l'industrie portuaire et aux échanges maritimes
3.3). La pollution liée au tourisme de masse

2ème PARTIE : LES PRINCIPAUX FACTEURS DE DEPERISSEMENT DES VEGETAUX EN BORDURE DU LITTORAL 41

A-LES FACTEURS ABIOTIQUES 42

1). Les embruns salés liés aux tempêtes exceptionnelles 42

2). Les aérosols marins pollués 42
2.1). Les symptômes occasionnés par les aérosols marins pollués
2.2). La composition et la formation des aérosols pollués
2.3). Le cheminement des aérosols sur la végétation
2.4). Les effets des détergents et des hydrocarbures sur la végétation
2.4.1). les détergents
2.4.2). les hydrocarbures

3). Le dépérissement des végétaux en bordure du littoral causé par des problèmes de sol 49
3.1). Les carences
3.1.1). L'azote

3.1.2). Le phosphore
3.1.3). Le potassium
3.2). Les excés
3.2.1). Le calcaire
3.2.2). Le sodium
3.3). Le stress hydrique

B-LES FACTEURS BIOTIQUES 52

1). Les maladies des résineux 52
1.1). Les insectes
a). La chenille processionnaire du pin
b). L'hylésine du pin
c). Le sténographe
d). La cochenille du pin maritime
e). La pyrale du tronc
1.2). les pathogènes des résineux
a). La maladie chancreuse du pin d'Alep
b). L'armillaire des résineux
c). Coryneum cardinale (chancre du cyprès)

2). Les maladies des feuillus 60

2.1). Les chênes
a). Le bombyx disparate
b). La maladie du charbon de la mère
2.2). La graphiose de l'orme.

C-RESULTATS DE L'ENQUETE SUR LE DEPERISSEMENT DE LA VEGETATION EN BORDURE DU LITTORAL 62

1). Présentation de l'enquête 62

2). Observations recueillies 62
2.1). Les côtes de la Manche
a). Le Nord
b). Le Pas de Calais
c). La Somme
d). La Seine Maritime
e). Le Calvados
f). La Manche
g). L'Ille et Vilaine
h). Les Côtes d'Armor
2.2). La façade Atlantique
a). Le Finistère
b). Le Morbihan
c). Loire Atlantique, Vendée, Charentes Maritimes
d). La Gironde
e). Les Landes
f). Les Pyrénnées Atlantiques
2.3). La côte méditerranéenne
a). Les Pyrénées Orientales
b). L'Aude
c). L'Herault

d). Le Gard
e). Les Bouches du Rhône
f). Le Var
g). Les Alpes Maritimes
h). La Corse

3). Conclusion de l'enquête 76

3ème PARTIE : LES AMENAGEMENTS EN BORDURE DU LITTORAL 78

A. RAPPEL DE LA LEGISLATION EN BORDURE DU LITTORAL 79

B. LES BRISE-VENT 79

1). Utilisation des haies brise-vent en bord de mer 80

2). Caractéristiques des végétaux constitutifs des haies brise-vent en bord de mer 80

3). L'efficacité des haies brise-vent 81
3.1). La perméabilité
3.2). La hauteur
3.3). L'homogénéité

4). Les éléments constitutifs d'une haie brise-vent 82
4.1). Les arbres de haut jet
4.2). Les arbres en cépée
4.3). Les arbustes buissonnants

5). Les brise-vent de bord de mer 82

C. LA STABILISATION DES DUNES 83

1). La végétation naturelle de la dune 84
1.1). Ses caractéristiques
1.2). La zonation de la végétation dunaire
a). La zone des laisses de mer
b). La zone des dunes embryonnaires
c). La zone du bourrelet littoral et des dunes blanches
d). La zone de la dune grise
e). La zone de la dune arbustive
f). La zone de la forêt littorale

2). L'aménagement des dunes 90
2.1) La restauration des dunes
a). Le colmatage des brèches
b). La rectification du profil de la dune
c). La protection d'un cordon dunaire en équilibre

d). La création d'un cordon dunaire
2.2). La plantation des végétaux dans la dune
2.2.1) Les conditions de réussite des plantations en bord de mer
2.2.2). Les herbacées couvre sol
a). L'oyat
b). Les autres herbacées
2.2.3). La plantations des arbres et des arbustes
a). Les végétaux très résistants
b). Les végétaux résistants
c). Les végétaux nécéssitant une protection contre les embruns salés
d). Exemple de végétalisation en zone côtière : le Var
2.3). L'information au public

CONCLUSION 101

ANNEXES 106

CARTE BIOCLIMATIQUE SUR LE LITTORAL FRANÇAIS 107
VEGETAUX UTILISES EN HAIES BRISE-VENT 108
VEGETAUX RESISTANTS AUX EMBRUNS 111
VEGETAUX ACCLIMATES EN REGION MEDITERRANEENNE ET UTILISABLES EN BORDURE DU LITTORAL 113
QUE PLANTER SUR LES SOLS SALINS ? AMENAGEMENTS PAYSAGERS DE LA VILLE DE LA ROCHELLE. 118
ADRESSES UTILES 122

BIBLIOGRAPHIE 126

INTRODUCTION

Le dépérissement des végétaux en bordure du littoral connait ces dernières années une évolution préoccupante. C'est un phénomène récent signalé depuis les années soixante sur le littoral méditerranéen, voire même le début des années trente dans les forêts artificielles de la côte atlantique. Ces problèmes de dépérissement, touchent indifféremment les végétaux adaptés et ceux introduits. Cette situation revêt un caractère d'autant plus sérieux que l'impact littoral représente un enjeu important, qu'il occupe en France une place prédominante. Le littoral français est le plus étendu d'Europe (5500 km de côtes voire 7200km si on compte toutes les anfractuosités) et possède des ouvertures sur trois mers : Manche, Atlantique, et Méditerranée. Ces grands espaces offrent de multiples interêts : écologiques, sylvicoles, touristiques et industriels.

L'interêt écologique est représenté par la diversité des paysages côtiers (falaises, plages, marais, baies,...) et par les particularités de ce milieu : vent violent, salinité du sol, embruns,... Toutefois, ces particularités sont également des contraintes pour les végétaux en bordure du littoral. Elles favorisent certaines espèces adaptées à ces milieux (halonitrophiles, halophiles, psammophiles, xérophytes), mais elles sont aussi les réelles limites à l'introduction d'autres végétaux.

L'interêt sylvicole du littoral quant à lui, date du XIX ème siècle et existe surtout dans les dunes. La cause primaire des plantations des forêts artificielles, constituées pour la majorité de Pin maritime, était de fixer la dune, et d'empêcher l'ensablement des habitations, et des cultures.

La richesse des paysages, et l'attrait de la mer renforcés par un climat agréable font du littoral français un site privilégié pour le tourisme. L'envol spectaculaire du tourisme balnéaire et nautique se concrétise par des flux de population importants. Ainsi, en été la densité de la population littorale est multipliée par 3 (en temps normal elle représente 10% de la population française). Pour cet afflux sans cesse croissant, il a fallu aménager de nouvelles

structures d'acceuil, qui à notre époque se concrétise surtout par des immeubles "pieds dans l'eau". 51% du littoral sont urbanisés (le littoral des Alpes Maritimes l'est à 95%), et plus de 13000 résidences secondaires sont construites en bord de mer tous les ans (GUILLEMOT, 1990). Cet aménagement côtier concerne 10 régions sur 22, 26 départements et 850 communes.

Mais cette urbanisation massive et souvent anarchique du littoral pose de graves problèmes de pollution. En effet selon l'A.N.E.L (Association Nationale des Elus du Littoral) :

- le taux de dépollution brut des agglomérations est de 35% ;
- la moitié seulement des égouts du littoral sont raccordés à une station d'épuration ;
- sur 15% des plages polluées, 2% sont franchement dangereuses pour la baignade (Lettre des techniques municipales n°232 du 15/12/1989).

La pollution du littoral n'est pas le seul fait de l'urbanisation, mais aussi de l'industrie implantée en bord de mer. L'installation de l'industrie sur les côtes est un phénomène récent et s'explique par les grands espaces qu'offre le littoral français, en plus des facilités d'acheminement et de la proximité de réception des matières premières.

Les eaux littorales sont donc la convergence des pollutions liées à l'urbanisation, à l'industrie, au trafic maritime, et à l'agriculture (pesticides, engrais véhiculés jusqu'à la mer par les fleuves).

Tous ces intérêts que suscite le littoral, et en particulier les plages, tendent à banaliser et à faire disparaître son originalité, source de son attrait. Cette dégradation de l'écosystème affecte directement la végétation, car elle subit des agressions en relation avec la pollution des milieux naturels. Mais, implantées en bordure du littoral dans des situations écologiques contraignantes, là où les facteurs limitants jouent un rôle important, ces agressions s'amplifient pour remettre en cause, en certains endroits, les aménagements littoraux et la végétation implantée ou existante en massif forestier.

Ainsi le dépérissement des végétaux sur le littoral français n'est pas du à un seul facteur, mais à la conjonction de plusieurs (conditions stationnelles difficiles, pollutions, vent, salinité). Ces facteurs contribuent à un affaiblissement général de l'arbre devenant alors une cible de choix pour les parasites qui les achèvent.

Aussi nous nous proposons dans cette étude de mettre en évidence et de souligner les contraintes et les agressions rencontrées par les végétaux en bordure du littoral. Il s'agit de contraintes climatiques (vent, embruns), stationnelles (sol filtrant, salé), de pollutions (détergent, hydrocarbure) et des maladies.

Aussi, il est approché dans une optique analogue à l'ouvrage "le dépérissement des arbres en ville" (étude INRA, édition STU 1988).

Toutes ces causes et tous les phénomènes de dépérissement seront abordés sous forme de synthèse bibliographique, au regard des connaissances actuelles, mais aussi présentés sous forme de bilan des observations scientifiques qui ont pu être faites dans ce domaine.

Pour ce faire, cette étude a bénéficié des communications collectées à la suite d'une enquête réalisée auprès des partenaires directement intéressés par les problèmes de dépérissement de la végétation côtière.

Enfin, en vue d'éliminer certaines options malheureuses, il est annexé des éléments d'orientation actuelle en matière de choix des végétaux.

PREMIERE PARTIE

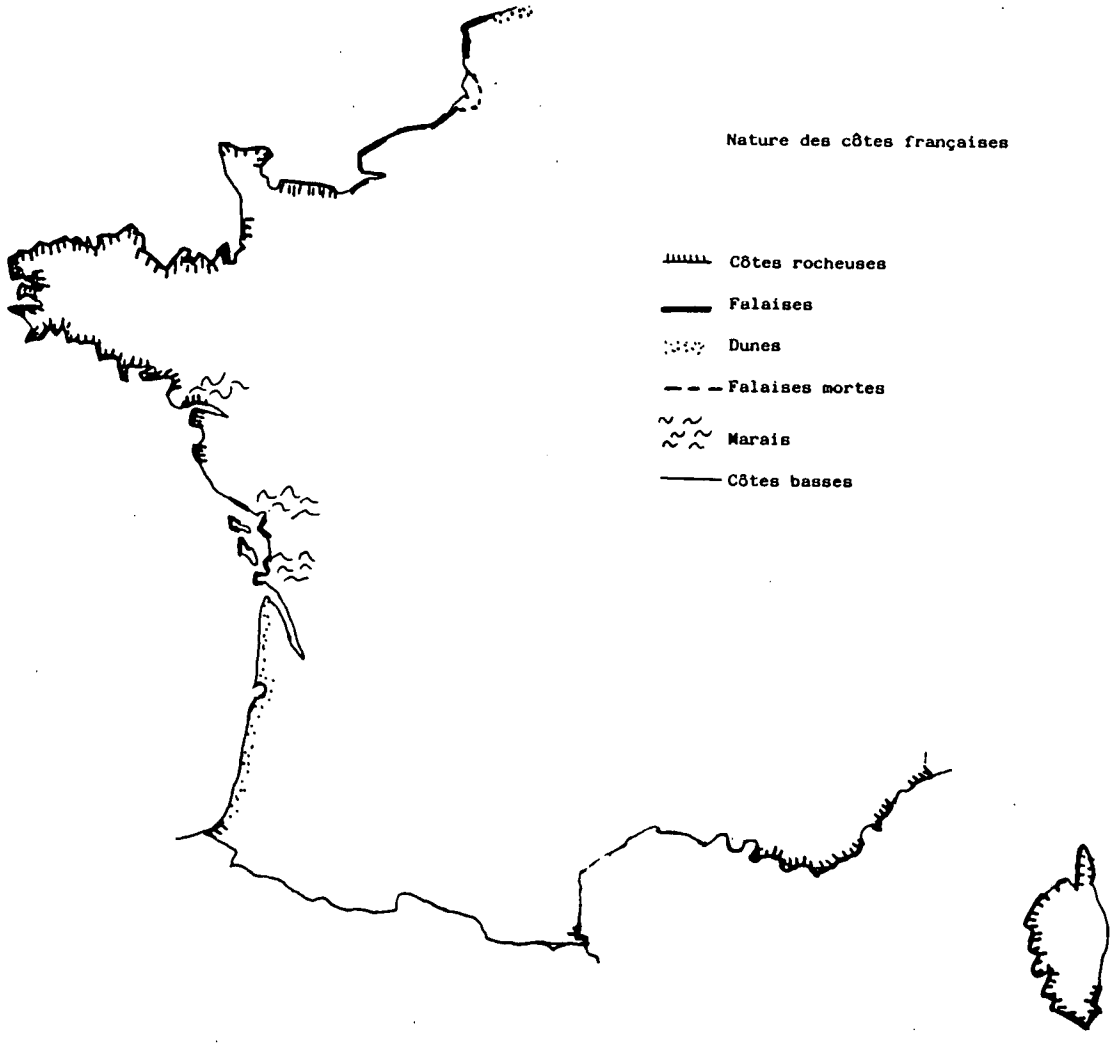
LES CONTRAINTES

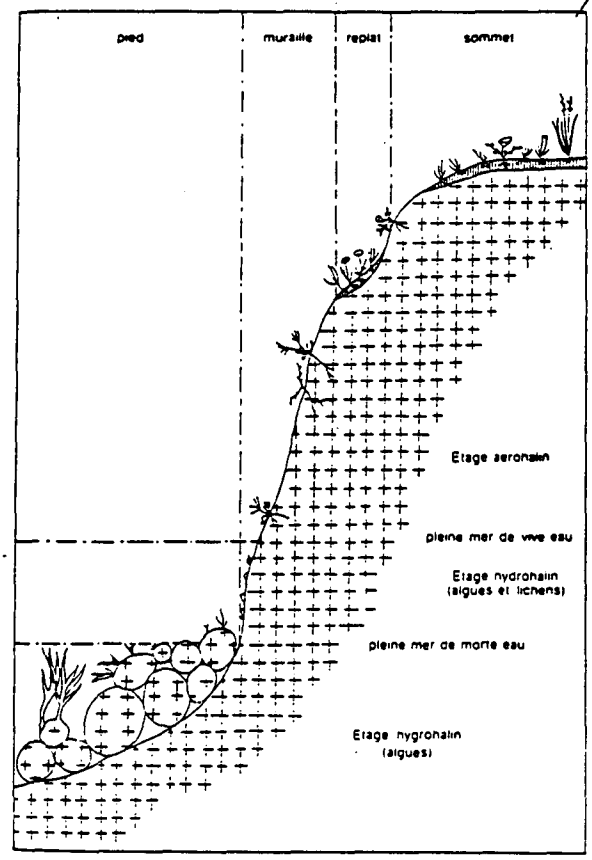
RENCONTREES PAR LES VEGETAUX

EN BORDURE DU LITTORAL

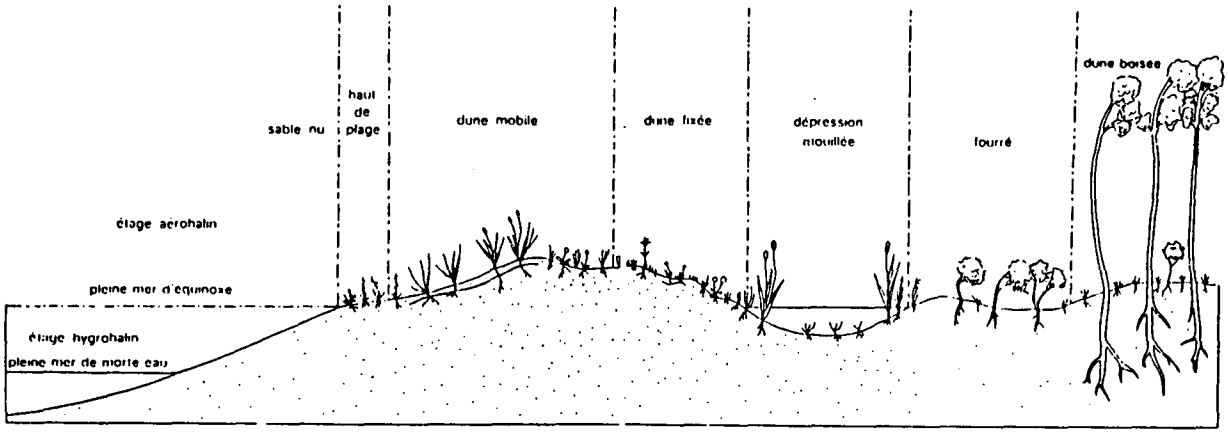
	Rochers	Plages	Marais
Façades nord et ouest	30%	40%	30%
Façade sud	65%	25%	10%
Total des côtes	40%	35%	25%

Répartition des côtes françaises selon leur nature.
(Guide de la Nature en France, 1979)

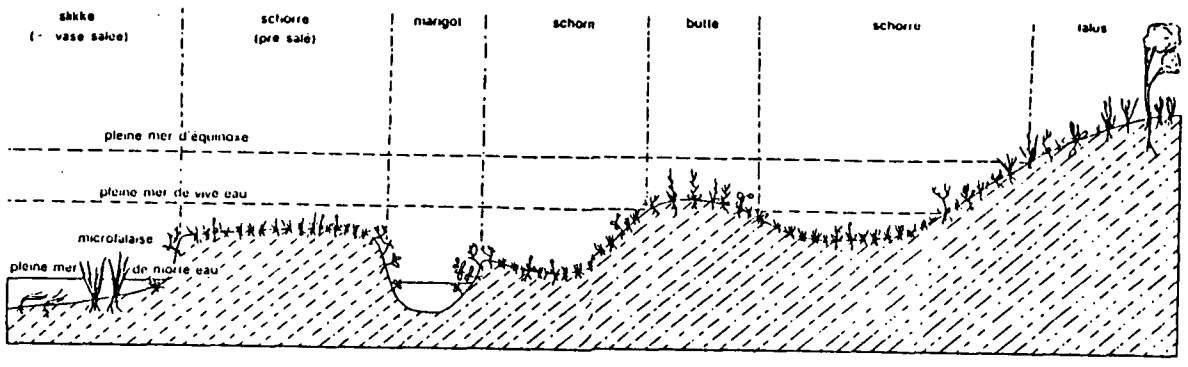




Profil theorique d'un faciès rocheux.



Profil théorique d'une dune littorale.



Profil théorique d'un faciès vaseux.

d'après Claustres et Lemoine.

A-EVOLUTION MORPHOLOGIQUE DES COTES FRANCAISES

Avec 5500 km (dont 800 d'estuaires) la façade maritime de la France est constituée à 40% par des rochers, 35% par des plages et 25% par des marais (voir carte, tableau et profils théoriques).

La ligne des côtes françaises que nous connaissons date d'il y a 6000 à 8000 ans. Elle résulte de l'important relèvement du niveau des mers survenu lors de la fusion des glaciers au Quaternaire.

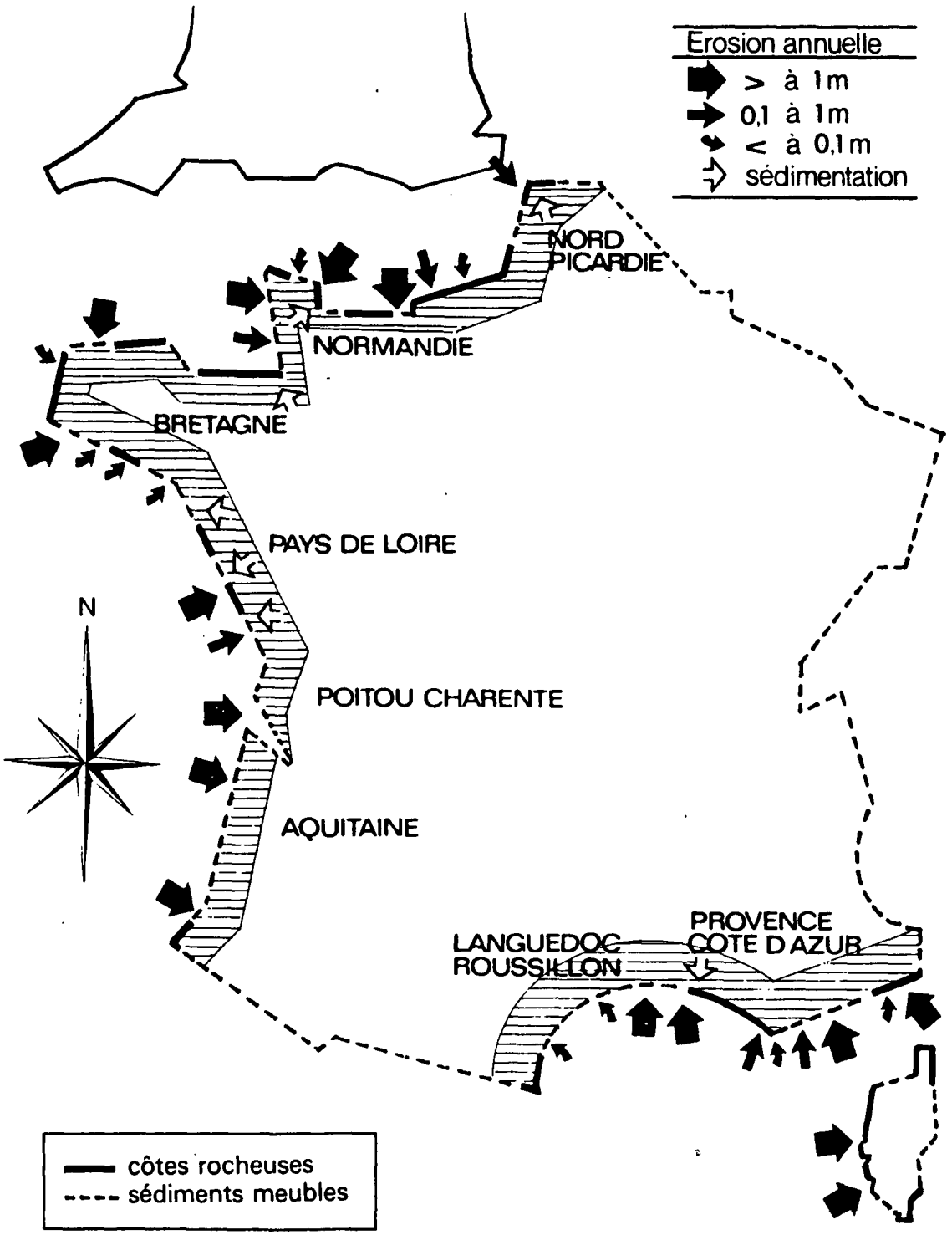
Depuis cette époque, le rivage tend à être régularisé par un travail d'alluvionnement (constructeur) et un travail de démolition (érosion), dont la plus grande part est assurée par la mer.

L'érosion marine est plus ou moins active selon l'allure du relief, la nature des roches et l'action offensive de la mer (force du courant de marée, puissance des vagues, courants littoraux). La plus grande part du travail de démolition de la mer est effectué au moment des tempêtes, conjoncture de vents violents, de basse pression et de grandes marées. Lorsque les tempêtes sont accompagnées de pluies intenses et précédées de fortes gelées, l'évolution est alors très rapide, voire spectaculaire (PASKOFF, 1989a).

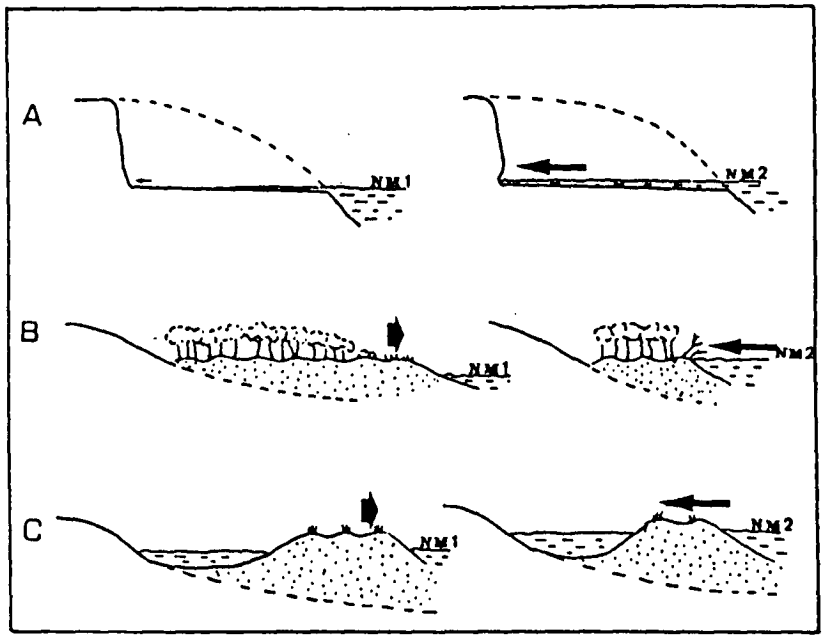
Les falaises et les plages sont intéressantes en matière d'urbanisme et de tourisme, c'est pourquoi nous nous limiterons à leur cas.

1). L'évolution morphologique des falaises :

Les falaises représentent l'aspect le plus spectaculaire des côtes, elles sont une forme d'érosion. Leur aspect et leur hauteur dépendent de la nature des roches. Les plus hautes aux pentes verticales ou surplombées sont taillées dans les granites, grès, calcaires ou dans la craie (Etretat). Les roches argileuses ou meubles donnent des falaises peu élevées. Le recul des falaises taillées dans des roches résistantes (quarzites, gneiss, ou granites non altérés) est moins visible à l'échelle humaine que celui des escarpements faits de craie. Dans le Pays



EROSIONS LE LONG DES COTES DE FRANCE



. *Effets d'une élévation du niveau de la mer sur l'évolution d'une falaise (A), d'une plage (B) et d'un cordon littoral isolant une lagune (C), d'après E.C.F. Bird.*

NM1 : niveau de la mer stable ; ralentissement du recul de la falaise par suite de l'élargissement de la plate-forme d'abrasion basale ; engraissement et progradation de la plage par accolement de crêtes successives, progressivement colonisées par la végétation ; formation d'un cordon littoral qui s'épaissit et ferme une lagune.

NM2 : élévation du niveau de la mer ; reprise du creusement d'une encoche au pied de la falaise et accélération du recul de celle-ci ; démaigrissement et érosion de la plage ; amincissement et migration vers la terre du cordon littoral, ce qui réduit la largeur de la lagune où l'épaisseur de l'eau s'accroît.

(PASKOFF, 1989a)

de Caux, le recul varie entre 0,10 et 0,50 m par an. Sur la côte basque, les falaises marneuses reculent jusqu'à 0,50 à 0,60 m par an (PASKOFF, 1989a).

La vague est le principal agent de l'érosion marine, et le déferlement représente une force considérable (une très forte lame peut atteindre 30 tonnes au m^2). Cette force sera moins grande si elle se dissipe sur une pente qui ne lui fait pas obstacle. Mais l'eau n'agit pas seulement par sa masse.

Le travail de démolition des vagues au niveau des falaises est aidé par la pesanteur, par les embruns qui pourrissent la roche, par la désagrégation mécanique et par la décomposition chimique due aux eaux de pluie. Lorsque l'eau pénètre dans les fissures de la roche, celles-ci sont élargies par érosion chimique, et par compression de l'air qui se détend ensuite brusquement.

La mer exerce une action mécanique d'usure par les matériaux qu'elle transporte : des sables, des graviers , des galets. Les particules sédimentaires agissent par frottement sur la roche.

L'érosion chimique s'opère par la dissolution des roches carbonatées, ou par l'hydrolyse des minéraux silicatés. Les minéraux ainsi libérés peuvent se recombiner et former des argiles, d'où une perte de solidité de la roche (le granite est pourri, et s'effrite en lamelle).

Par exemple en Normandie, il existe sous le plateau supérieur des failles parallèles à l'à-pic, telles que la pluie s'y insinue et dissout le calcaire (érosion karstique)(Guide de la nature en France, 1979). A la base de la falaise, la mer par son travail de sape remonte par les fissures et un jour de fortes pluies un pan s'effondre. La falaise se raccorde à la plate-forme d'abrasion où s'accumulent les débris. On estime de 800.000 à 900.000 m^3 par an la quantité de matériaux livrée à la mer par les falaises entre le cap Antifer et la baie de Somme et à 600.000 m^3 entre le cap Antifer et le Havre (PASKOFF, 1989a).

Ainsi, l'érosion marine produit des débris (sables, graviers, galets), qui sont ensuite transportés plus ou moins loin selon leur masse, grâce aux vagues, aux courants côtiers, notamment la dérive littorale. A cette érosion marine s'ajoute

une érosion continentale, lesquelles forment avec la réserve sédimentaire sous-marine les matériaux constructeurs des plages.

2). L'évolution morphologique des plages :

2.1). La construction des plages :

Les sables peuvent être également transportés à la mer, par les fleuves. Ils sont alors entrainés par les courants littoraux et vont engraisser les plages voisines. Les plages sont formées dans les rentrants par les sables. Après leur dépôt, les sables sont modelés par le vent et forment où ils s'accumulent des dunes.

Une diminution de la vitesse des courants ou un obstacle peut conduire à l'accumulation des débris en une flèche étroite. Elle est d'abord sous-marine, puis à force des accumulations, elle émerge pour former des cordons littoraux. Lorsqu'il repose sur un îlot rocheux, le cordon littoral peut rattacher peu à peu l'îlot à la côte en formant une presqu'île : c'est un tombolo, comme par exemple la presqu'île de Quiberon, ou de Giens (double tombolo). Si par contre le cordon littoral s'appuie sur l'extrêmité d'une baie ou un estuaire qu'il tend à fermer, il y a création le long de la côte d'une lagune.

2.2). L'érosion des plages :

Les plages subissent partout dans le monde un démaigrissement (perte de sédiments), résultat d'une érosion plus importante que l'accumulation de sable, de graviers, ou de galets. Paskoff cite plusieurs exemples de ce recul : "A l'est de Dunkerque, la côte a reculé de 30 m entre 1947 et 1977. Sur les plages du Calvados, le retrait annuel moyen est estimé à 0,50 m par an. En Bretagne, le repli du rivage au sud de la baie d'Audierne a été, dans la commune de Treguennec, de 150 m entre 1952 et 1969. En Charente la plage de Chatelaillon a perdu 160 m de largeur dans sa partie nord et 250 m dans sa partie sud entre le début du XVIIIè siècle et nos jours. Dans les Landes de Gascogne, le recul de la côte est considérable. Il affecte tout

le littoral entre les embouchures de la Gironde et de l'Adour. Il semble avoir été de plus de 10 km depuis le VIè siècle de notre ère dans le Médoc. Il s'est accéléré à partir du XVIIIè siècle et il est devenu catastrophique au XXè siècle : 185 m à l'Amélie, près de la pointe de la Grave, entre 1940 et 1970, 700 et 800 m à Capbreton entre 1881 et 1970, 33 m à Anglet entre 1952 et 1963. Sur les plages du Languedoc, des taux de retraits de 1,5 à 4 m par an ont été mesurés, avec une pointe de 12 m dans les environs des Saintes-Maries-de-la-Mer."(PASKOFF, 1989a)

L'érosion des plages relève de phénomènes naturels tels que l'épuisement de la réserve sédimentaire sous-marine et l'élévation du niveau de la mer.

2.2.1). L'élévation du niveau de la mer :

Au cours de ce siècle une évolution lente des côtes du monde entier se produit; il s'agit de la montée de la mer de 1,2 à 1,5 mm par an. Cette augmentation du niveau de la mer est attribuée à un réchauffement du climat, lui même dû à une augmentation de la teneur en CO_2 dans l'atmosphère, qui provoque la fonte des glaciers en montagne, et des grandes calottes glacières polaires de l'Antarctique et du Groenland et de la dilatation des océans. Leur fonte complète aboutirait à une évaluation du niveau de la mer de 70 mètres. (PASKOFF, 1987)

L'augmentation de la teneur en CO_2 dans l'atmosphère est due à l'utilisation d'énergie fossile (charbon, pétrole, gaz), et à une déforestation sans cesse croissante en zone tropicale. Le taux de CO_2 serait encore plus élevé si la mer n'en absorbait pas la moitié.

Actuellement la teneur en CO_2 est de 350 ppm, elle sera doublée vers la moitié du siècle prochain.

L'augmentation de la température de la troposphère est le résultat de l'absorption du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre la nuit. Cet effet de serre augmente également avec la présence dans l'atmosphère d'autres gaz, comme

le méthane, le dioxyde d'azote, les chlorofluorocarbones qui atteignent la couche d'ozone.

Le relèvement du niveau de la mer provoque un recul de la ligne de rivage, et consécutivement la submersion des espaces littoraux bas.

Au niveau des différents sites littoraux, la montée des eaux marines se manifesterait par :

- soit un recul vers l'intérieur des terres des marais, dans le cas d'une remontée lente, soit leur disparition dans la mer, si la montée est rapide.
- un démaigrissement et un recul des plages (érosion des plages qui existe déjà).
- une accélération du retrait des falaises.
- des risques de saliniser les nappes phréatiques par pénétration de l'eau de mer au niveau des estuaires et embouchures. Ceci provoquerait une modification importante de leur écosystème.
- un envahissement des plaines deltaïques subsidentes.

La remontée du niveau de de la mer met en péril toutes les structures implantées par l'homme sur le littoral. C'est un problème à long terme auquel il faut envisager dès à présent les solutions. Pour y faire face plusieurs stratégies peuvent être mises en place. L'une d'elles serait d'empêcher la mer de gagner du terrain, soit par la construction de digues ou autres barrières (comme en Hollande), soit par le remblaiement de zones gagnées par la mer, à l'aide de matériaux qu'il faudrait importer des terres, vu que le stock des sédiments sur le littoral s'épuise.

L'autre solution, proposée par Paskoff (PASKOFF, 1987), est le retrait progressif de l'homme dans les zones du littoral encore peu urbanisées, ainsiqu'une interdiction de "tout aménagement sur une bande parallèle au rivage, d'une longueur moyenne égale à environ 50 fois la vitesse moyenne du recul de la côte". Du fait de l'évolution continue de cette limite, cela sous-entend l'abandon pur et simple de toutes les constructions (routes par exemple), qui tombent dans cette zone.

Une telle retraite de l'homme existe déjà aux USA (Caroline du Nord, Maine), dans les zones faiblement urbanisées.

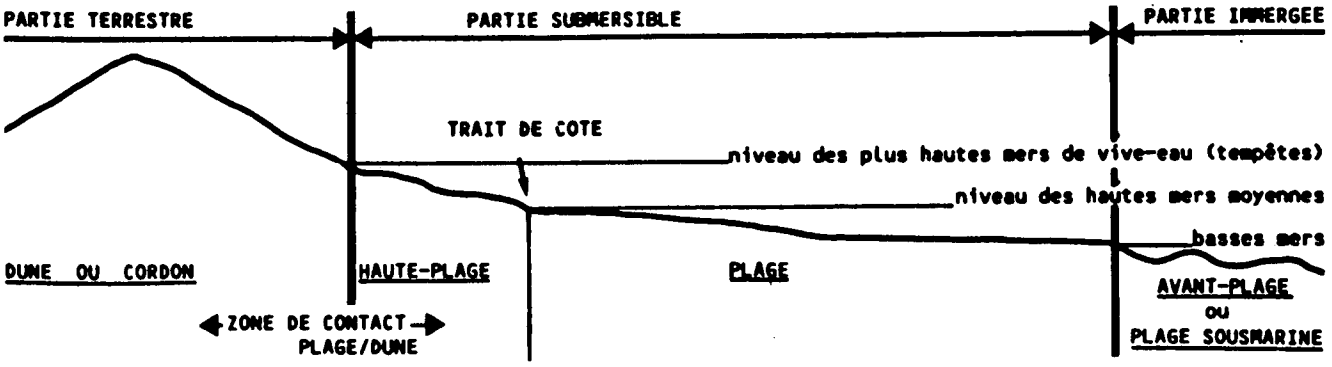
Le relèvement du niveau de la mer est un phénomène ineluctable, dont il faut dès à présent tenir compte.

Cependant, l'érosion est également le résultat de l'intervention de l'homme.

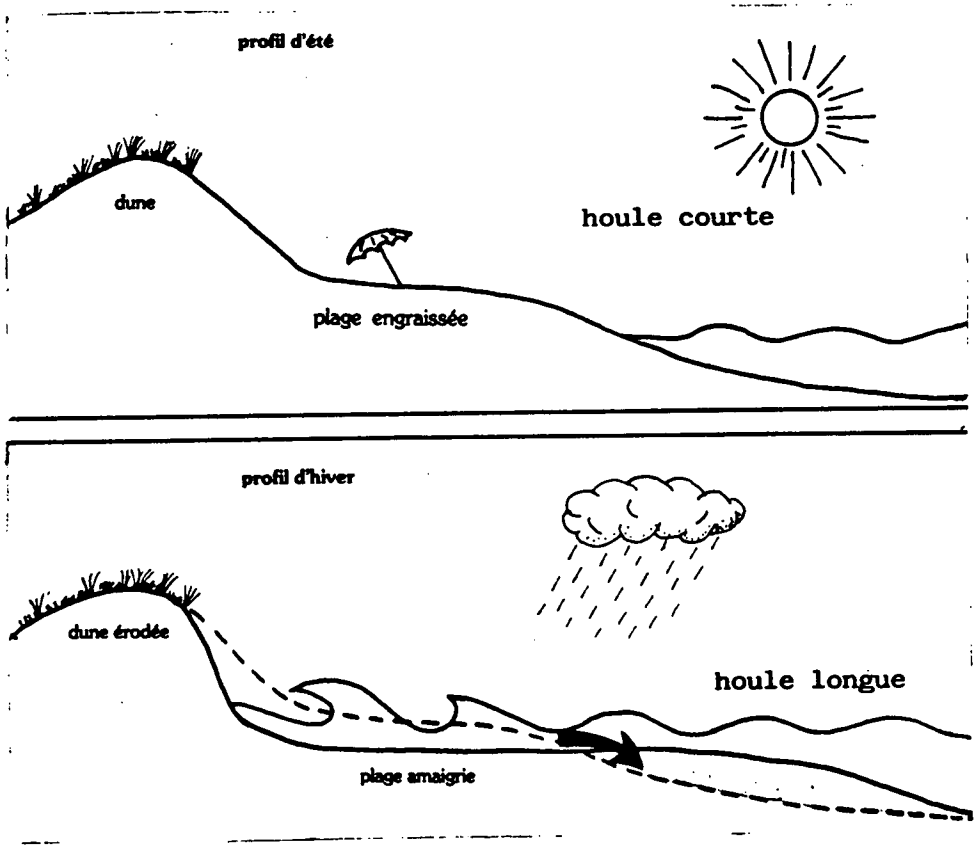
2.2.2). Les facteurs anthropiques de l'érosion :

Les extractions massives de sédiments dans les cours d'eau ou encore la mise en place de barrage, provoquent un démaigrissement des plages dont l'alimentation est d'origine fluviatile (QUELENNEC, 1989). Les aménagements sur le Rhône et ses affluents ont réduit la charge en alluvions livrée par le fleuve à la mer d'environ 40 millions de tonnes au milieu du XIXè siècle à seulement 4 ou 5 millions de tonnes actuellement (1989a). Les structures portuaires (digues, jetées) perturbent le transit des matériaux servant à l'engraissement des plages, tout comme les travaux de défense des côtes (épis, brise lame, mur de protection). Les épis ont pour but de ralentir la dérive littorale, et ainsi l'obliger à déposer les sédiments qu'elle transporte. Ils empêchent donc le démaigrissement d'une plage. Mais en fait le problème est déplacé, car les parties adjacentes à ces travaux ne reçoivent plus suffisament de sédiments. Les brises lames cassent l'énergie de la houle et réduisent l'énergie du déferlement. Les murs de protection sont utilisés pour réduire le recul des falaises et protéger les équipements menacés sur les hauts des plages. En fait, ils s'opposent aux échanges de sédiments nécessaires à l'équilibre du système plage-dune, et augmentent la force des vagues de retrait (par réflexion sur le mur), ce qui retire encore plus les sédiments (PASKOFF, 1989a).

L'extraction de sable et de graviers sur les plages ou les dunes pour la construction, et l'urbanisation accélerée du littoral sont autant de facteurs de l'érosion des plages.



Profil des parties des accumulations sableuses (d'après DUBREUIL, 1984)



Variation saisonnière du profil de la dune.

Ainsi il est important de tenir compte du recul du trait de côte pour les aménagements présents et à venir sur le littoral.

B-LES CONDITIONS EDAPHIQUES

Au regard de la troisième partie, nous traiterons les conditions édaphiques des régions littorales à sédiments meubles, et en particulier la dune. Par ailleurs c'est une zone des plus exploitée par l'homme (urbanisation, sylviculture,...).

La dune est la partie terrestre des accumulations sableuses, les deux autres parties sont l'avant-plage (partie toujours submergée, comprise entre le niveau des plus basses mers et la plate-forme continentale), et la plage (comprenant une zone sableuse périodiquement submergée, située entre le niveau des plus hautes mers et celui des basses mers).

Les sols dunaires sont loin d'être des plus favorables à l'implantation et au développement des végétaux. En effet, les dunes sont un milieu difficile pour les végétaux, de part la mobilité de leur substrat, de sa nature chimique, et de sa faible capacité à retenir l'eau.Contrairement aux autres sols urbains ou péri-urbains qui sont le plus souvent argileux, compacts et imperméables.

1). Le sable, un substrat mobile :

1.1). Le transport du sable par le vent :

Les sables sont des sols bruts mobilisés de manière incessante jusqu'à ce qu'ils soient stabilisés par la végétation.

Les agents responsables de la mobilité du substrat sont la mer et le vent.

Le transport du sable par le vent peut se faire par des mouvements de roulement, de saltation et de suspension.

L'intensité du déplacement du sable par le vent dépend de:

- la granulométrie du sable : au delà de 6 mm de diamètre, le sable n'est plus transportable.
- la teneur en eau du sable: un sable sec est mieux transporté. Les grains collés par l'eau nuisent au transport. Ils sont d'abord séchés avant d'être transportés, quelque fois le séchage provoque la formation d'une croûte de sel, qui peut également nuire au transport.
- l'hygrométrie de l'air : un air sec aura besoin de moins d'énergie pour déplacer le même sable qu'un air humide.
- la vitesse du vent : il s'agit de la vitesse de frottement critique au dessous de laquelle le vent ne peut transporter le sable. Elle dépend des trois paramètres précédents.(DUBREUIL, 1984)

On parle de déflation éolienne qui correspond à la mise en mouvement du sable par le vent. Elle permet le prélèvement du sable dans les zones nues où il n'y a pas de couvert végétal.

Pour un sable de 0,3 mm de diamètre, un air sec déplacera 550 kg/m/h avec une vitesse de 72 km/h.(Y.F. THOMAS cité par DUBREUIL, 1984)

Quand la vitesse du vent diminue, il y a sédimentation.

L'action du vent peut être constructive et érosive tout comme peut l'être l'action de la mer.

1.2). Le transport du sable par la mer :

L'effet constructeur de la mer s'effectue par l'intermédiaire de la houle. Celle-ci apporte les matériaux sableux de l'avant-plage sur la plage. On dit qu'il y a engraissement de la plage. Ce phénomène se produit surtout en été, quand les vagues et la nappe de retrait sont faibles.

Par contre, en hiver, les vagues sont plus fortes et plus cambrées. Elles peuvent provoquer la formation d'une microfalaise au pied de la dune. Les nappes de retrait plus

fortes reprennent le sable de la plage, il y a alors démaigrissement de la plage.

Cette trop grande mobilité du sable est défavorable aux plantations. En effet, un apport massif de sable par le vent et/ou par la mer peut provoquer un ensablement des jeunes plantations, et un retrait induire un déchaussement. C'est pourquoi il est préférable de stabiliser ce sol par des plantes adaptées à ces conditions (psammophiles) avant d'effectuer des plantations d'arbres (voir troisième partie).

Par ces mouvements (marée, dérive littorale, courants,...) la mer n'est pas seulement le vecteur des sédiments constructeurs de la plage, elle y apporte également desminéraux, de la matière organique(débris d'organismes marins), et malheureusement toutes sortes de pollutions rejettées en mer.

2). La texture et la composition des sables dunaires (DUBREUIL, 1984)

La composition et la granulométrie du sable interviennent dans la dynamique et la composition de la végétation.

L'apparition progressive d'un sol dans les parties internes de la dune fixée intervient également dans la différenciation de la végétation.

2.1). La texture :

La granulométrie est liée à la nature de la roche qui s'est désagrégée, et on considère 4 classes de sable :

- 0,08 à 0,2 mm : ce sont les sables fins ou sablons
- 0,2 à 1 mm : les sables moyens
- 1 à 2 mm : les sables grossiers
- 2 à 20 mm : les graviers.(DUVAL, 1986 ; DUBREUIL, 1984)

Cette granulométrie des sables intervient dans la constitution physique des dunes, et plus particulièrement la

quantité de sable fin serait le facteur déterminant pour l'implantation de la végétation. De l'estran à la dune boisée la granulométrie du sable varie. Généralement de l'avant-plage à la dune, on trouve d'abord les sables les plus gros puis les plus fins, lesquels sont transportés plus loin par le vent.

En cas de tempête, les vagues peuvent apporter des sables plus grossiers sur la dune, ils seront ensuite recouverts d'apports éoliens plus fins.

La différence de granulométrie aura des conséquences importantes sur la remontée de l'eau par capillarité, et sur la capacité des sables à retenir l'eau.

Dans un sable fin les forces de capillarité l'emporte sur la pesanteur : l'eau est mieux retenue dans un sable fin que dans un sable grossier ; 12 à 24% du poids dans un sable fin contre 4 à 8% dans un sable grossier.

2.2). La composition des sables dunaires :

Les sables dunaires sont réputés chimiquement pauvres, mais riches en calcaire et en sel. En général, le sable des dunes est composé de deux fractions :

- une fraction siliceuse qui a pour origine les matériaux du contexte géologique
- et une fraction calcaire, ayant pour origine les débris de coquilles et de fragments d'algues calcaires en provenance de la mer.(DUVAL, 1986)

2.2.1). Le calcaire :

C'est la fraction plus tendre. Elle est facilement réduite en éléments très fins que l'on retrouve par conséquent en abondance plus grande dans la dune que sur le reste de la plage.

a- Calcaire actif et calcaire inactif :

Il existe une corrélation entre la granulométrie moyenne du sable et sa teneur en $CaCO_3$: plus le diamètre moyen augmente

moins il y a de sable calcaire. Selon la taille du grain il y a deux types de $CaCO_3$:

- Le calcaire inactif : correspond à des grains de sable assez grossiers. Il n'a qu'une faible activité chimique. Avec les pluies chargées en acide carbonique, ce calcaire va être progressivement dissous sous une forme plus active.

- Le calcaire actif, en fragments très petits est facilement solubilisé par l'eau chargée en acide carbonique :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \longrightarrow (CO_3H)2Ca$$

Le bicarbonate soluble sature le complexe absorbant du sol et favorise la formation d'agrégats dans la matière organique du sol.(DUBREUIL, 1984)

Les plantes calcifuges comme le pin maritime craignent le calcaire actif. Mais elles peuvent supporter jusqu'à 4 à 5% de calcaire inactif. La tolérance est accrue quand le taux de matière organique augmente, et avec une bonne alimentation en eau (BONNEAU, 1976).

b- Calcaire et alcalinité des sables :

Plus la proportion de carbonate est élevée, plus le pH augmente :

- % $CaCO_3$	11,2	8,1	6,1	3,6
pH	8,1	7,7	7,4	6,5

(mesures effectuées en surface dans une dune de Vendée, FUSTEC-MATHON citée par DUBREUIL, 1984)

Les végétaux capables de pousser sur des sols alcalins en présence de calcaire sont des calcicoles neutrophiles.

Le lessivage par l'eau de pluie dissout progressivement le $CaCO_3$, et on a alors un phénomène de décalcification. Celle-ci est progressive depuis la haute-plage jusqu'à l'arrière dune boisée. Dans les dunes les plus anciennes, on a sous les pins un horizon de sable blanc grisâtre complètement décalcifié situé

sous la couche humifère. La décalcification provoque une augmentation de l'acidité dans les sols.

2.2.2). Le sel :

Il est surtout question des chlorures, toxiques pour les végétaux à fortes concentrations.

La chloronité des sables en surface diminue depuis l'estran jusqu'à la dune boisée. En été les quantités de sels sont plus élevées qu'en hiver, en rapport avec le lessivage des couches superficielles.

En été le dessèchement intense du sable superficiel conduit à une très forte augmentation à ce niveau de la concentration en sels. Par contre en profondeur la concentration en chlorure diminue rapidement. Les embruns enrichissent en chlorure la surface des sables surtout en été quand il n 'y a pas de lessivage.

En hiver les chlorures sont lessivés en surface. Quelque fois on peut voir apparaître un croûte superficielle qui correspond à la cristallisation du sel. La teneur en sel est un facteur limitant pour les végétaux. Les végétaux adaptés à ces conditions sont appelés halophiles.(FUSTEC-MATHON, 1970)

2.2.3). La matière organique :

La matière organique dans les sols sableux en bordure du littoral provient de deux sources principales :

- les laisses de mer (débris d'algues et d'animaux ..) qui sont enfouies dans le sable de la haute-plage. Les laisses se décomposent vite et elles libèrent beaucoup d'azote. En plus de la richesse en azote, la haute-plage est riche en sel : les végétaux qui s'y installent sont dits halonitrophiles.

- l'installation de la végétation apporte de la matière organique par les débris (racines, feuilles) (DUBREUIL, 1984).

Le carbone et l'azote organique ont des taux qui n'atteignent des valeurs notables que dans les zones où la végétation est importante. Dans la dune jeune le sable est pauvre en matière organique.

La répartition de la matière organique varie transversalement du haut de la plage aux parties les plus internes. Le taux de matière organique est plus fort dans les pelouses internes que vers la plage où les apports de sable sont plus importants (phénomène de dilution).

Il n'y a pas de véritable sol dans les premières franges dunaires. Car la décomposition de la matière organique ensablée est très importante, de même que la minéralisation. La forte porosité des sables non fixés augmente le phénomène de lessivage des produits minéralisés solubles.

Dans les parties les plus internes de la dune, les apports de sable sont plus faibles, l'effet de dilution diminue. La présence de $CaCO_3$ et la granulométrie plus fine, limitent le lessivage des colloïdes produits par la décomposition des organes morts. L'humus s'accumule sous les végétaux. C'est le premier sol au sens pédologique du terme, mais il est très peu différencié : il n'a qu'un seul horizon (sol superficiel au sens pédologique du terme). Son épaisseur va augmenter avec le temps et le développement du couvert végétal.(FUSTEC-MATHON, 1970)

Parallèlement à la différenciation du sol, à la diminution de la granulométrie, et à la dissolution du $CaCO_3$, on assiste à un tassement progressif du substrat qui devient moins poreux et retient mieux l'eau.

3). L'eau dans les dunes

3.1). L'eau de capillarité :

3.1.1). La réserve d'eau utilisable par les végétaux :

Les dunes sont généralement considérées comme des habitats secs en raison de la nature sableuse du substrat qui ne retient que de faibles quantités d'eau.

L'eau dans les sables dunaires se présente sous deux formes principales :

- l'eau de capillarité
- les nappes d'eau douce souterraines

L'eau de capillarité est contenue dans les pores du sol.

Dans les rapports entre le sol et l'eau, on définit le degré de disponibilité de l'humidité pour la végétation par la capacité au champ et le point de flétrissement permanent.

La capacité au champ est la plus forte humidité pour laquelle les transferts d'eau sont lents. C'est l'eau retenue dans le sol une fois que l'eau de gravité la plus mobile s'est écoulée. La capacité au champ varie selon les sols et notamment selon leur texture.

Le point de flétrissement permanent est la quantité d'eau qui correspond à la limite inférieure de l'eau capillaire absorbable par les racines. Au dessous de ce seuil les plantes ne peuvent plus absorber l'eau retenue trop énergiquement et fanent de façon permanente. On admet que pour l'ensemble des végétaux le point de flétrissement est à environ 16 atm.

Pour les sables dunaires le taux d'humidité de la capacité au champ est en moyenne de 7% (du poids sec de sable), et de 2% environ le point de flétrissement permanent.

La réserve d'eau utilisable par les végétaux se situe entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent.

3.1.2). Les variations du taux d'humidité dans la dune :

Sur l'estran et la haute plage le dessèchement des couches superficielles peut être nettement marqué pendant les mois les plus secs. Ainsi le taux d'humidité en surface s'abaisse en dessous du point de flétrissement permanent, mais quand on s'enfonce dans le sol, la teneur en eau augmente. Entre 10 et 50 cm de profondeur elle peut être supérieure à la capacité au champ et ce toute l'année. Ce dessèchement superficiel favorise le transport du sable par le vent, la couche de sable concernée ne dépasse pas un centimètre. Le reste de l'année, le taux d'humidité varie peu autant en surface qu'en profondeur, ce qui traduit une certaine homogénéité du sédiment tant au point de vue de la structure que de la texture.

Les taux d'humidité varient également selon la végétation de couverture de la dune. Par exemple, dans la dune boisée le taux d'humidité en surface est important, souvent supérieur à la capacité au champ, mais en profondeur les taux d'humidité se situent presque toute l'année entre les deux valeurs (capacité au champ et point de flétrissement permanent).

La retention de l'eau paraît plus importante en surface où il y a des végétaux et plus particulièrement cela semble lié à la richesse en matière organique par suite de la décomposition des algues et autres, en profondeur les taux d'humidité sont identiques à celui de l'estran.(FUSTEC-MATHON, 1970)

3.1.3). La perméabilité des sables dunaires :

La perméabilité d'un sol dépend essentiellement de la quantité de pores non capillaires. Elle est surtout liée à la texture du sol,(les sols à texture grossière sont généralement les plus perméables), mais aussi à sa structure (des sols à texture fine mais en agrégats stables, peuvent présenter une porosité non capillaire élevée). Les sols sableux sont donc souvent considérés comme des milieux perméables dans lesquels

l'eau s'infiltre rapidement. Cependant la perméabilité élevée des sables permet de soustraire à l'évaporation une grande partie des eaux qui percolent en profondeur.

La vitesse de percolation de l'eau dans les sables varie selon les groupements végétaux et est donc nettement liée aux propriétés des couches superficielles du sol, en rapport avec l'enrichissement en matière organique, rendue plus ou moins hydrophobe par la dessiccation. La perméabilité diminue lorsqu'on progresse de la plage vers la dune boisée. Cette diminution est surtout évidente pour la couche de sable superficielle de plus en plus riche en matière organique et en éléments fins susceptibles de colmater les pores grossiers. On a donc une infiltration rapide de l'eau sur la haute plage dans la dune embryonnaire et dans la dune mobile. Au niveau de la dune fixée la difficulté de pénétration de l'eau dans le sol est essentiellement liée à la non mouillabilité des sables humifères de la couche superficielle, importante quand la couche superficielle est desséchée. Lorsqu'ils sont secs les sols sableux sont peu mouillables, pour emmagasiner l'eau il faut que ces sables aient un microrelief, qu'ils ne soient pas totalement horizontaux.

3.2). Les nappes d'eau douce souterraines :

La nappe d'eau douce est alimentée par les eaux de pluies. Elle est présente dans les dunes flottant au dessus de la nappe salée sous-jacente. Elle suit en les amortissant les dénivellations du sol. La surface de la nappe n'est pas horizontale. Au niveau des dunes, elle remonte par capillarité. Malgré cette remontée, elle ne sera accessible qu'aux végétaux ayant un système racinaire profond (pivot). La proximité de la nappe d'eau douce peut contribuer au maintien de l'humidité au niveau de la haute-plage. Le chiendent des sables (Agropyrum junceum) et l'oyat (Ammophila arenaria) ont des racines qui se développent profondément dans le sol, elles sont donc la majeure partie de l'année en contact avec des sables humides. Au niveau des dépressions la nappe peut affleurer, et constituer lors des fortes pluies, une véritable mare.(DUBREUIL, 1984)

Peuplement de chênes verts (île d'Oléron, océan à 500M), aspect désséché du houppier.



zone nécrosée

bande brun foncé

partie verte vivante



Photocopie de feuilles de chêne vert provenant du peuplement de la photo ci-dessus.

Dans les cas de fortes sécheresses, c'est une nappe d'eau saumâtre qui affleure. Les végétaux ayant leur racines en contact avec l'eau salée présenteront des signes de dépérissement suite à la toxicité du sel.

C-LES CONDITIONS CLIMATIQUES

1). Les embruns salés :

L'action des embruns salés sur la végétation littorale est connue depuis longtemps. On lui attribue les phénomènes de morphoses, ainsi que la zonation de la végétation du littoral.

La succession des séries végétales s'explique par les différents degrés de tolérance aux embruns de la végétation. Cette variation de tolérance est en corrélation avec l'intensité des embruns salés, qui diminue vers l'intérieur des terres. Ainsi on trouvera à proximité du bord de mer, les espèces halonitrophiles, les espèces halophiles, puis vers l'intérieur les espèces halorésistantes (OOSTING, 1945).

Les embruns salés ont une action sélective sur la végétation côtière. Cette action permet la croissance et la survie d'un nombre limité d'espèces tolérantes, d'où une diminution de la compétition entre elles. Il y a donc un contrôle indirect de leur communauté et de leur développement.(OOSTING, 1945)

Chez les végétaux non halophiles, les effets des embruns salés se manifestent directement ou indirectement.

1.1). Les effets directs des embruns salés :

Les effets directs sont caractérisés par une zone de nécrose à l'extrêmité des feuilles qui progresse ensuite vers le pétiole sous la forme d'un V inversé. Il y a souvent une bande mince brun foncé (0,2 à 1mm), qui sépare la partie apicale brune (morte) de la partie vivante verte de la feuille (WELLS, 1938).



Port en drapeau (fuyant le sel), extrêmité des aiguilles jaunes, (Calelongue, Bouches du Rhône).

Les effets les plus importants sont retrouvés sur la face des arbres exposée aux vents venant de la mer, les dégâts vont en s'atténuant du littoral vers l'intérieur.

Les végétaux non halophiles que l'on rencontre en bordure du littoral ont des feuilles ou des aiguilles à cuticules épaisses, qui limitent les échanges avec le milieu extérieur, et qui sont imperméables aux sels. Cependant, il existe sur les deux faces des feuilles des petites rayures ou lacérations. Ces griffures sont dues au frottement des feuilles et des rameaux entre eux sous l'action du vent, et à l'effet d'abrasion du sable transporté par le vent. BOYCE en 1954 a démontré que ces égratignures étaient le point d'entrée des sels. Cet auteur a également identifié les ions chlorure comme étant les principaux responsables des nécroses (les ions Na+ et Cl- représentent près de 85% des ions totaux contenus dans l'eau de mer, on estime que 2 à 10.10^9 tonnes par an de sel sont transférées dans l'atmosphère, (FONTANA, 1976)). Quel que soit leur point d'entrée sur la feuille ou les rameaux, les chlorures sont transportés à leurs extrémités (migration acropète), où ils se trouvent alors en concentration élevée et préjudiciable.

1.2). Les effets indirects des embruns salés :

PYYKKö en 1976 a montré sur le pin sylvestre que les effets indirects des embruns salés se manifestent par l'inhibition des bourgeons supérieurs consécutivement à l'atteinte des aiguilles de l'année précédente.

L'expension et l'élongation des pousses de l'année dépendent de l'état des aiguilles de l'année précédente : si moins de 70% de ces aiguilles sur un rameau donné sont endommagées, le développement de la pousse correspondante sera normal, de 70 à 80% il y a élongation mais les pousses sont plus courtes, au delà de 80% la croissance est inhibée.

Il convient de souligner ici qu'il n'y a pas de nécroses des bourgeons supérieurs mais seulement une inhibition.

Les morphoses s'expliquent donc par l'action inhibante du sel sur les bourgeons supérieurs des branches exposées aux vents venant de la mer, et par la croissance normale des bourgeons des branches côté terre. On a donc une croissance asymétrique de l'arbre ou de l'arbuste qui prend un port particulier "en drapeau", "fuyant le sel" (LAVAGNE, 1990).

Les effets des embruns salés sur la végétation littorale sont identiques à ceux des sels de déneigements sur les arbres en ville (PEULON, 1988).

2). le vent :

Les actions dues au vent per se sur la végétation sont :

- un effet désséchant. L'augmentation de l'agitation de l'air par le vent augmente la transpiration des végétaux donc la perte d'eau, ceci n'est valable que pour des vitesses allant jusqu'à 15 km/h. Au delà les stomates se ferment, il n'y a plus d'échange.

- d'autre part, il permet le frottement des feuilles et des rameaux entre eux ce qui provoque les écorchures des feuilles.

Les actions du vent sur la végétation sont surtout importantes par l'intermédiaire des matériaux qu'il transporte, le sable et les aérosols (sels). En région littorale, les végétaux subissent les effets de deux courants d'air : la brise de mer, et la brise de terre. Ceci se traduira par des apports de sable et d'aérosols qui peuvent être d'origine marine ou terrestre.

Le vent chargé de sable provoque un "mitraillage" des feuilles, entrainant des lésions à leur surface. Par ailleurs pour que le sable soit pris en charge par le vent il faut qu'il soit sec et qu'il possède une certaine granulométrie (pas plus de 6 mm, sauf lors de tempêtes exceptionnelles, où il peut transporter du sable plus gros).

Le vent marin est un facteur limitant pour les végétaux ligneux. Ils ne peuvent se développer que s'ils sont suffisamment protégés.

Les morphoses ne sont pas dues à un effet du vent per se, mais à l'effet inhibant des sels qu'il transporte.

Les méfaits du vent sont surtout appréciables sur les végétaux, lors des tempêtes. Les fortes rafales de vents observées pendant celles-ci peuvent provoquer des chablis, hâtant l'exploitation des forêts littorales.

3). l'hygrométrie:

Les pluies sont les apports d'eau les plus importants. N'oublions pas que le chlorure de sodium constitue les noyaux de condensation à l'origine de la pluie.

L'augmentation de la température de l'air accroît la transpiration des végétaux, et l'évaporation de l'eau à la surface du sol. Cette sécheresse du sol et de l'atmosphère provoque des défoliations précoces des arbres. C'est une réaction normale de l'arbre pour diminuer sa perte en eau. Cela correspond aussi à un vieillissement précoce de l'arbre.

Dans une certaine mesure, cette sécheresse peut être relativisée en bordure du littoral.

Généralement la mer intervient comme un régulateur des températures, les écarts sont moins contrastés qu'à l'interieur. La proximité de la mer tend à modérer l'aridité due à la rareté des précipitations estivales.

Les sables en tant que substrat filtrant permettent l'écoulement rapide de l'eau dans les couches profondes du sol. Une plus grande partie de l'eau échappe ainsi à l'évaporation. Cette eau sera donc accessible aux végétaux ayant un système racinaire profond.

La zone la plus sensible pour l'alimentation en eau des végétaux est la dune fixée par les pelouses rases, constituées en grande partie par des mousses et des lichens. Au niveau des mousses, il existe une aridité du milieu due à la faible pénétration des eaux de pluies. Les mousses peuvent absorber une grande partie de l'eau, jusqu'à 500% de leur poids sec, cette

eau est ensuite perdue par évaporation. L'humus s'oppose à la pénétration de l'eau d'autant plus qu'il est desséché (voir les conditions édaphiques). (DUBREUIL, 1984)

La survie des végétaux dans cette zone ne peut s'expliquer que par l'intervention du phénomène de rosée. La condensation est 8 fois plus élevée sur les mousses que sur le sable nu. L'humidification par condensation est plus efficace que par l'eau de pluie. Les sables rendus hydrophobes par la matière organique sont mieux mouillés par la rosée que le sable nu. En plus il y a une adaptation des organes aériens des végétaux pour recueillir le maximum de rosée (feuilles en gouttière, forte pilosité), et des parties souterraines (système racinaire superficiel).

Au cours des chapitres précédents, on a pu se rendre compte de l'importance du rôle des différents mouvements des masses d'eau (courant de marée, houle, courant marin,...) et d'air (brise de mer, brise de terre) dans l'évolution de la morphologie des côtes, et sur la végétation (pour son établissement, son maintien voire sa survie). Tous ces mouvements sont autant de vecteurs pour les polluants, ce qui ne fait qu'accroître, les agressions pour les végétaux, et bien sûr pour l'homme.

D-LES FACTEURS ANTHROPOGENES

1). Les agressions dues à la fréquentation de ces milieux :

Le piétinement est un des principaux fléaux pour la survie de la dune. En effet, les végétaux, comme l'oyat, qui la stabilisent sont très sensibles au piétinement, et leur destruction induit une libération du sable des dunes et par conséquent leur dégradation.

En lisière des peuplements forestiers installés en bordure de mer, le piétinement conduit à une asphyxie des racines par compactisation du sol, ce qui réduit les interstices libres pour

les gaz, dont notamment l'oxygène, nécessaire au métabolisme énergétique qui permet aux racines d'absorber l'eau et les éléments minéraux nécessaires à la croissance de l'arbre. Le tassement du sol perturbe également l'alimentation en eau, ce qui est d'autant plus grave que la fréquentation du littoral s'effectue pendant les mois les plus chauds de l'année.

Une autre source importante de la dégradation de la végétation littorale est la circulation de motocyclettes, et de voitures tout terrain qui labourent le sol, et arrachent les végétaux.

D'autre part le passage repeté des touristes à travers la dune et les groupements de végétaux pour accéder plus directement et plus rapidement à la plage crée l'ouverture de brèches par lesquelles le vent s'engouffre. Ce phénomène contribue à la formation d'un véritable couloir qui permet aux embruns et au sable de pénétrer encore plus loin.

2). La mauvaise gestion de ces milieux :

Elle peut être le résultat d'une erreur dans le choix des essences, par exemple en plantant des végétaux sensibles aux sels, ou intolérants aux conditions édaphiques et climatiques particulières au littoral.

Elle se manifeste aussi par le manque de coupes sanitaires qui limitent la propagation des parasites, par les tailles mal protégées, qui constituent alors des points d'entrée pour les parasites lorsqu'elles ne sont pas protégées par un badigeon antiseptique.

Le manque d'entretien, comme par exemple la non suppression des arbres vieillissants, ou très malades ou même morts contribue à l'entretien des foyers de parasites qui lorsqu'ils atteignent un niveau de population critique, s'attaquent au arbres sains. Les propriétés privées laissées à l'abandon, participent également à la prolifération des parasites. L'abattage des arbres trop vieux ou morts, ainsi que l'entretien sanitaire sont une lourde charge financière pour le propriétaire. Ceci explique en partie les carences d'entretien. Le coût élevé de l'abattage sur les propriétés est souvent lié

aux difficultés d'accès ou de faisabilités (atteinte du réseau EDF) de l'abattage. En effet les arbres sont coincés entre la maison et la clôture (les 2 mètres réglementaires ne sont pas respectés), car ces propriétés ont été délimitées un peu n'importe comment sur des terrains où les arbres existaient déjà et qui étaient en fait des forêts (cas de la Baule).

L'urbanisation des plages ne respecte pas toujours ce milieu fragile, soit par tassement du sol par les engins de terrassement, soit par les prélèvements massifs de sable qui perturbent l'équilibre avant-plage, plage, dune déjà si difficile à maintenir. La perturbation de la surface du sol par tassement, ou par constructions immobilières, se répercute au niveau des réserves en eau du sol. Les engins de chantier peuvent également blesser ou couper les racines.

Les effets de l'ouragan d'octobre 1987, se font ressentir non seulement par leur violence, mais aussi par les carences d'entretien de ces peuplements qui ont accentué le phénomène de dépérissement.

Les agressions attribuées à l'homme ne sont pas seulement directes, mais aussi plus incidieuses par la pollution du littoral dont il est l'origine.

3).Origines et sources de pollution :

Les différents polluants du milieu marin peuvent être classés en 4 catégories selon leur mode d'action (Secrétariat d'Etat à l'Environnement, 1983) :

- les matières en suspension,
- les matières organiques biodégradables,
- les substances toxiques,
- les microorganismes pathogènes.

Les matières en suspension minérales et organiques proviennent des effluents d'origine urbaine, et notamment des effluents pluvieux. Ces substances dans le milieu marin empêchent la pénétration de la lumière solaire dans l'eau, ce qui pose problème pour les herbiers. Elles peuvent également

colmater les zones de frayères et compromettre ainsi la reproduction (disparition des poissons, et des filtreurs sensibles au colmatage). Les matières en suspension servent également de support à d'autres polluants qui s'y adsorbent. La fraction décantable de la matière en suspension sédimente sur les fonds, ce qui asphyxie le milieu benthique où le renouvellement de l'eau est faible. L'élimination de ces substances est prioritaire sur le littoral.

Les matières organiques biodégradables représentent la quasi-totalité des matières organiques contenues dans les effluents d'origine urbaine. Généralement, l'importante réoxygénation de l'eau diminue leur toxicité excepté dans certains cas comme les zones fermées où le renouvellement de l'eau est faible, les zones où il y a des accumulations en profondeur, tel que cela provoque une eutrophisation du milieu, et les zones à proximité d'un déversement important.

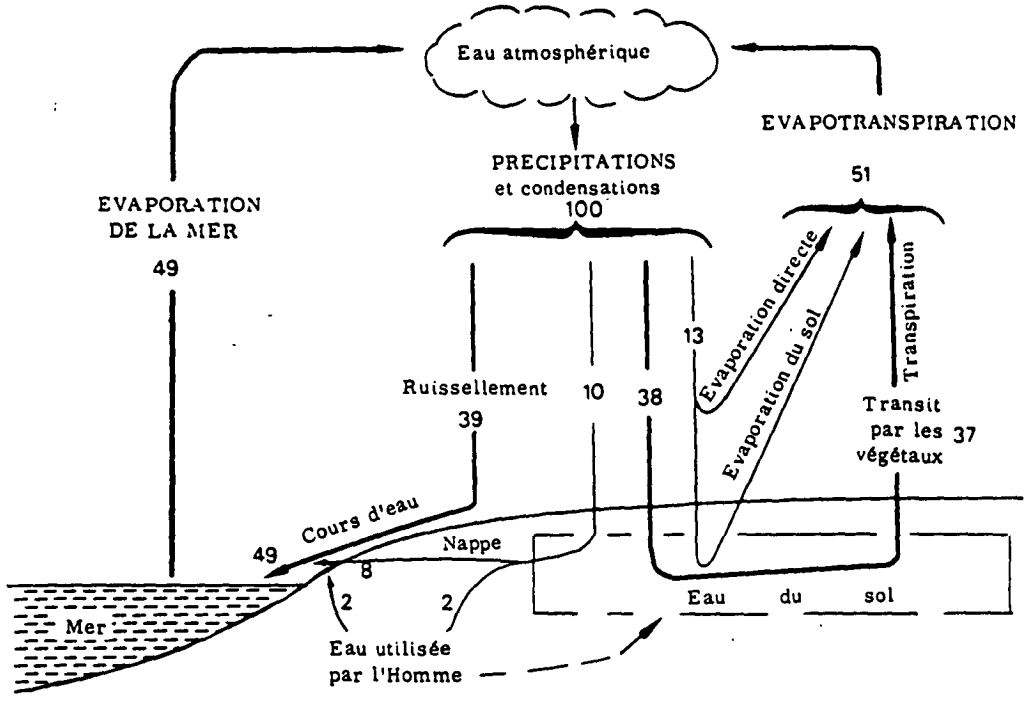
Les substances toxiques minérales ou organiques sont plutôt contenues dans les effluents industriels qu'urbains, où leur concentration est faible. Le danger est leur accumulation dans les organismes marins consommés par l'homme.

Les microorganismes pathogènes sont surtout dangereux pour l'homme dans les eaux de baignade, et dans les coquillage consommés crus.

Les principales pollutions arrivant sur le littoral sont liées à l'eau, aux activités portuaires, et à la fréquentation humaine (ou urbanisation).

3.1). La pollution liée à l'eau :

Le transport des polluants par l'eau est réalisé à différents niveaux du cycle de l'eau (voir figure).



Cycle général de l'eau dans une région tempérée, moyennement boisée, très cultivée et très urbanisée.

Le schéma et les chiffres se rapportent à la République Fédérale Allemande; les chiffres indiquent des pourcentages par rapport à la quantité totale de précipitations (d'après Clodius et Keller, *in* Duvigneaud).

(OZENDA P.)

3.1.1). Les fleuves :

Ainsi le réseau hydrographique français comporte 250000 km de rivières non domaniales et 15000 km de rivières domaniales, qui transportent et rejettent dans l'océan des rémanents toxiques de diverses origines. Certains de ces rémanents sont liés à l'agriculture comme les herbicides, fongicides, et autres pesticides de formule souvent très complexe et secrète ou encore des engrais (N, P) qui risquent quant à eux de provoquer une eutrophisation du milieu et se traduisant par un développement anarchique de certaines algues. D'autres rémanents proviennent de l'activité industrielle proche des cours d'eau ou encore des rejets des eaux usées domestiques contenant notamment des phosphates de lessives. Cette proximité s'explique par les besoins en eau importants de ces industries, et par l'utilisation des fleuves comme voie de communication.

3.1.2). La pluie :

Outre le drainage des polluants par les fleuves, les pluies peuvent également être un vecteur des polluants, captés dans l'atmosphère ou au cours du phénomène de ruissellement.

Les eaux pluviales contiennent une quantité importante de matière en suspension dont le rejet direct en mer peut atténuer l'amélioration apportée par les stations d'épuration, et peuvent induire des risques de pollution bactérienne non négligeables.

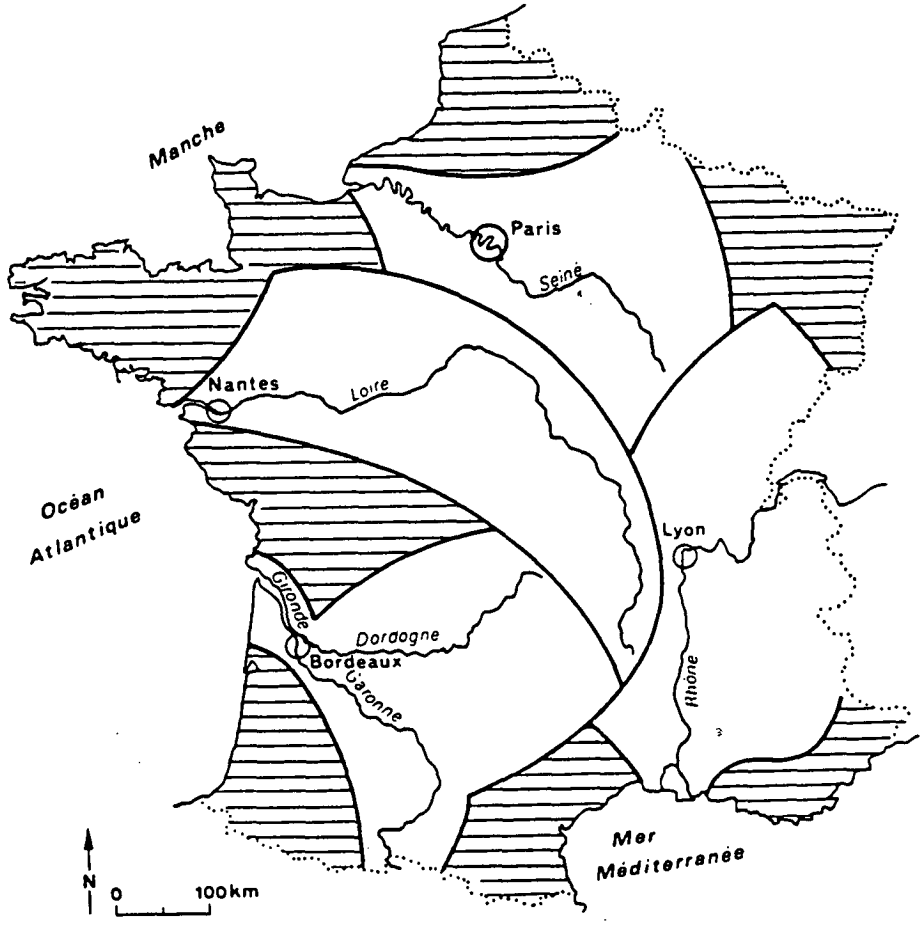
3.1.3). Les courants marins :

D'autres déchets sont transportés par les courants marins et proviennent de la mer et du continent (littoral côtier et berges du cours d'eau). Ces courants jouent un rôle essentiel dans la dispersion des rejets.

Malgré les différents systèmes de verrouillage de la propagation des pollutions illustrés par les différents types d'épuration, il subsiste quand même un certain nombre de polluants irrascibles véhiculés par les fleuves.

BASSIN VERSANT	INSECTICIDES	HERBICIDES	FONGICIDES	TOTAL
NORD	356	2094	691	3141
BRETAGNE/NORMANDIE	485	2728	553	3766
POITOU/CHARENTE	276	1552	3769	5597
AQUITAINE	226	864	368	1458
LANGUEDOC/ROUSSILLON	209	656	10905	11770
PROVENCE	47	233	2165	2445
SEINE	1359	8254	3849	13462
LOIRE	1110	7652	4483	13245
GARONNE	633	3566	7514	11713
RHONE	412	2285	7915	10612
TOTAL	5113	29884	42212	77209

Tableau I : Estimations des quantités de matières actives utilisées en agriculture par grand bassin versant marin. (Chiffres exprimés en tonnes/an). Réf. : COLLET, 1988.



Delimitation des grands bassins versants maritimes.(MARCHAND, 1989)

Les polluants qui ne sont pas ou peu traités sont les engrais azotés, les nitrates (agriculture), les phosphates de lessives, de même que la pollution véhiculée par les eaux pluviales.

3.2). La pollution liée à l'industrie portuaire et aux échanges maritimes:

Depuis un trentaine d'années, un glissement vers les littoraux est observé en ce qui concerne les activités traitant de grandes quantités de matières importées, comme la sidérurgie, et la pétrochimie. Les industries s'implantant là où se trouve réunies les conditions les plus favorables à leur activité, telles que la proximité des sources de matières premières, l'eau, des espaces disponibles, et une bonne desserte. Les grands ports, offrant des facilités pour la réception et l'acheminement des marchandises, expliquent l'essor des zones industrielles portuaires de Marseille, Fos, Dunkerque, et Le Havre.

C'est par la voie maritime que l'importation du pétrole est la plus importante.

La France dispose de 3 façades maritimes sur des mers très fréquentées. Six ports autonomes ont été créés en 1965 (Dunkerque, Le Havre, Rouen, Nantes Saint Nazaire, Bordeaux, Marseille). La multiplication des industries (pétrochimie, sidérurgie, métallurgie) et l'accroissement du trafic maritime, augmentent d'autant plus les sources de pollutions (hydrocarbures, métaux lourds), et leur importance.

3.3).La pollution liée au tourisme de masse:

Les littoraux attirent la plus grande partie des vacanciers (20 millions chaque été, dont 6 millions d'étrangers). La côte méditerranéenne, provençale, languedocienne et le rivage atlantique du Finistère jusqu'à la Gironde sont les plus fréquentés.

		Manche - Atlantique		Méditerranée
		Huîtres	Moules	Moules
PCB (µg/kg)	Nb	1025	812	559
	Moy	**344**	**540**	511
	Int	331 - 357	514 - 566	482 - 540
	m-M	25 - 968	17 - 1680	20 - 1545
PAH (mg/kg)	Nb	945	834	540
	Moy	**3,04**	**4,21**	**5,15**
	Int	2,92 - 3,16	4,01 - 4,41	4,83 - 5,47
	m-M	0,02 - 8,3	0,1 - 13,1	0,19 - 16,25
DDT (µg/kg)	Nb	915	799	475
	Moy	**73,1**	**40,5**	**132**
	Int	69,3 - 75,1	38,5 - 42,5	125 - 139
	m-M	4 - 256	3 - 126	7 - 367
Hg (mg/kg)	Nb	953	837	469
	Moy	**0,213**	**0,127**	**0,191**
	Int	0,207 - 0,219	0,125 - 0,129	0,186 - 0,196
	m-M	0,03 - 0,49	0,02 - 0,29	0,01 - 0,49
Cd (mg/kg)	Nb	914	858	507
	Moy	**2,61**	**1,09**	**0,90**
	Int	2,51 - 2,71	1,05 - 2,13	0,86 - 0,96
	m-M	0,25 - 7,4	0,14 - 2,77	0,1 - 2,11

Données statistiques sur des polluants organiques et métalliques sur la période 1979-1987. Nb: nombre d'observations. Moy: moyenne exprimée en poids sec. Int: intervalle de confiance (moyenne ± 2x erreur standard). m-M: minimum-maximum.

La matière vivante, et notamment les coquillages tels que la moule et l'huître, constitue un excellent support de mesure pour la surveillance des polluants. (IFREMER, 1988)

	Niveau faible	Niveau moyen	Niveau fort
PCB (µg/kg)	0 - 120	120 - 600	600
Hg (mg/kg)	0 - 0,6	0,6 - 1,0	1,0
Cadmium (mg/kg)			
.Huître	0 - 8	8 - 20	20
.Moule	0 - 2	2 - 5	5

Gammes de concentration adoptées par les Conventions d'Oslo et de Paris. Les limites pour les PCB, exprimées en poids frais par ces Conventions, sont ici portées en poids sec par un coefficient de 6.

Outre la baignade, on a également un fort développement de la navigation de plaisance, qui est une autre source de pollution. En 30 ans, 180 ports ont été construits.

Sur les 5500 km de côtes, 2000 km de plages dont 1800 de sable sont fréquentés par le public. En 1985, on estimait à 1500 ha la superficie des plages nettoyée, et à 1 kg de déchets par vacancier et par jour (GUETTIER et al., 1990a).

En été la population littorale augmente, ce qui multiplie la quantité de déchets. Il peut alors se créer des décharges sauvages. Par ailleurs, l'augmentation brutale de la population sur le littoral peut provoquer dans certains cas des problèmes d'efficacité des dispositifs d'épuration. De plus cette augmentation du flux de pollution coïncide avec l'utilisation massive des plages, ce qui implique un surpassement de l'efficacité de l'épuration.

L'accroissement rapide de la capacité d'accueil touristique des zones littorales donne souvent lieu à une urbanisation dispersée à base de lotissements ou de petits immeubles collectifs dont la desserte par un réseau d'assainissement n'est pas envisageable à court et à moyen terme. D'autre part les campings, les colonies de vacances sont situés dans des zones qui ne sont pas desservies par les égouts (GUETTIER et al., 1990a).

En plus des variations saisonnières du flux de la pollution, l'urbanisation en zone littorale est souvent privée. L'exploitation, l'entretien de ces installations, sont laissés aux particuliers qui n'ont pas forcément les compétences requises, si bien qu'elles sont parfois à l'abandon.

Enfin d'autres atteintes que la pollution affectent la végétation littorale.

Le littoral est à la confluence des milieux terrestres et maritimes. Mais surtout il est le lieu de convergence des pollutions d'origine terrestre et maritime. Les premières sont amenées par le vent (brise de terre), et par l'eau (pluie, fleuves). Elles peuvent agir directement sur la végétation ou se

deverser dans la mer, et se mêler aux autres polluants marins avant de revenir à terre et sur la végétation par les mouvements d'air (brise de mer transportant les embruns pollués), ou d'eau (courants, marées, dérive littorale).

DEUXIEME PARTIE

LES PRINCIPAUX FACTEURS

DE DEPERISSEMENT DES VEGETAUX

EN BORDURE DU LITTORAL

A-LES FACTEURS ABIOTIQUES

1). Les embruns salés liés aux tempêtes exceptionnelles

Les effets des embruns salés sont plus apparents après de fortes tempêtes pendant lesquelles les plantes proches de l'océan sont continuellement mouillées. Ils se manifestent par un roussissement et une mortalité rapide des feuilles et des rameaux, consécutivement aux apports massifs de sels et à l'augmentation de leur vitesse de pénétration dans la feuille (PYYKKÖ, 1976).

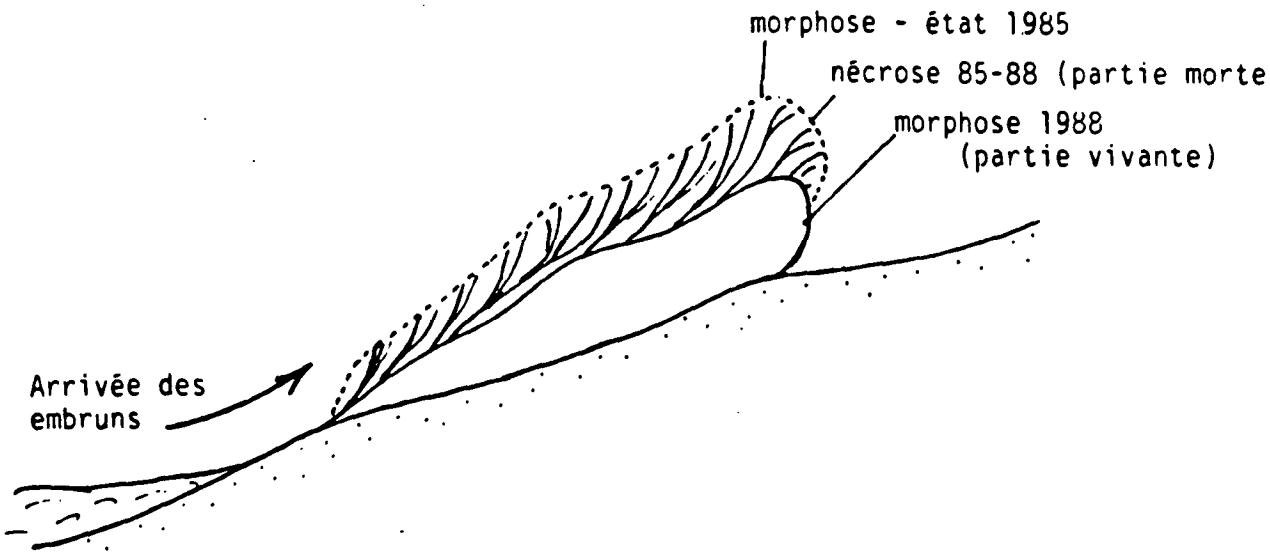
En temps normal, les embruns salés ne sont pas préjudiciables aux espèces tolérantes (halophiles). Cependant, celles-ci peuvent être éliminées au cours de tempêtes très violentes.

D'autres plantes peuvent être soumises aux embruns salés alors qu'habituellement elles ne le sont pas du fait de leur éloignement de la mer et de la présence d'obstacles (dunes par exemple). L'augmentation de la vitesse du vent permet d'emporter plus loin les embruns à l'intérieur des terres.

Généralement de telles tempêtes sont suivies de pluies qui diminuent l'efficacité des embruns ; le sel déposé sur les feuilles est lavé. Mais s'il n'y a pas de pluies pendant et après les tempêtes, les dommages dus aux embruns salés peuvent être désastreux (OOSTING, 1945). En effet, l'abrasion des feuilles et des rameaux est plus grande, les points d'entrée pour le sel sont plus nombreux , de plus les quantités de sel déposées sont plus élevées. La pénétration du sel ne sera qu'amplifiée, de même que les dommages qui en résultent.

2). Les aérosols marins pollués :

Depuis les années 60, un dépérissement de la végétation est constaté, dans certaines régions, sans que l'on puisse rendre responsable les conditions climatiques particulières (tempêtes). De plus les végétaux halophiles et halorésistants sont également atteints, et les dommages ne se manifestent plus seulement par



Abaissement de la morphose par nécrose des rameaux supérieurs (LAVAGNE, 1990)

des morphoses, mais aussi par des nécroses aboutissant à la mort du végétal. Le sel ne peut donc plus être le seul responsable.

Différentes équipes, australiennes (DOWDEN et LAMBERT), italiennes (GROSSONI, BUSSOTI, et GELLINI), et françaises (SIGOILLOT, DEVEZE) ont montré l'action synergique dans les aérosols du sel marin et de certains polluants : hydrocarbures, métaux lourds, et notamment l'action prépondérante des tensioactifs anioniques ou détergents.

Un tel type de dépérissement est rencontré :

- en Australie (côtes de la Nouvelle Galles du Sud), où les araucarias (Araucaria heterophylla) plantés à la fin du XIX siècle, et forts de leur 35 m, ont complètement disparus, surtout au niveau des zones urbaines de la côte, dont la métropole de Sydney.(DOWDEN et LAMBERT, 1979, PITMAN et al., 1977, GRIEVE et al., 1976)

- en Italie, les pinèdes (Pinus pinea, Pinus pinaster) situées sur la côte tyrrhénienne du Parc de San Rossore (province de Toscane) sont gravement atteintes.(GELLINI et al., 1983, CLAUSER et al., 1989)

- en Algérie, et en Espagne (près de Barcelone) un dépérissement du Pin maritime est également constaté sur la côte méditerranéenne.

En France, ce dépérissement est récent et est signalé le long de la côte méditerranéenne depuis 1966-1968, où des arbres âgés de 150 à 200 ans sont atteints, malgré une croissance jusqu'alors normale.(DEVEZE, SIGOILLOT, 1978)

Les symptômes observés sont similaires à ceux occasionnés par les embruns salés seule l'issue est différente.

2.1). Les symptômes occasionnés par les aérosols marins pollués :

Le dépérissement des végétaux attribué aux embruns marins pollués, évolue de la même façon quelle que soit la région concernée. Il peut être décomposé en trois stades :

- un stade préliminaire : caractérisé par un ralentissement de la croissance des arbres, avec un jaunissement

puis un brunissement de l'apex des aiguilles, ou des marges foliaires chez les caducifoliés, et la chute prématurée des feuilles et des aiguilles âgées.

- un stade intermédiaire : durant lequel il y a nécrose des bourgeons.

- un stade final : correspondant à la mort de branches entières voire de l'arbre, consécutivement à une défoliation complète qui ne permet donc plus d'alimenter en photosynthétats le végétal.(MELI et RESCH, 1990)

Les pins à aiguilles persistantes sont plus sensibles au dépérissement que les autres espèces à feuilles caduques. Cependant au printemps, les feuillus deviennent les espèces les plus sensibles, car la cuticule n'est pas encore suffisamment développée, pour protéger efficacement les tissus foliaires d'une éventuelle agression.

2.2). La composition et la formation des aérosols marins pollués :

Les aérosols peuvent être d'origine atmosphérique, ou marine. Dans le premier cas, ils contiennent des poussières, du fluor, des oxydes de soufre, des HPA (hydrocarbures polyaromatiques), des produits pétroliers lourds oxydés, qui proviennent des activités terrestres (industries pétrolières et autres, circulation automobile, ...). Les aérosols d'origine marine contiennent les constituants naturels de l'eau de mer (chlorure de sodium 3%, chlorure de magnésium 0,4%, sulfate de magnésium 0,16%, sulfate de calcium 0,12%, iodure, carbonate, bromure), du fuel, des détergents anioniques, du fluorure de sodium... Ces polluants peuvent avoir une triple origine :

- une origine intercontinentale liée à la pollution générale de la Méditerranée

- une origine régionale liée aux effluents venus du continent et à leur dérive.

- une origine locale liée à la surfréquentation estivale de certains sites.(LAVAGNE, 1990)

La présence des détergents et des hydrocarbures dans les embruns marins s'explique par leur localisation au niveau de la microcouche de surface de l'eau de mer, génératrice des embruns. En effet les embruns sont constitués de microgouttes provenant d'une couche d'eau de mer très superficielle. Les microgouttes sont issues d'un éclatement en surface des bulles gazeuses, entrainées par le mouvement des eaux. Il y a deux types de gouttes : les gouttes de jet, qui contiennent les éléments de la surface interne de la bulle qui ont été ramenés lors de sa vie sous-marine. Ces bulles ont une taille de 50 µm à quelques mm. L'autre type de gouttes, les gouttes de film (taille du µm), sont formées de matériaux présents dans la microcouche de surface, elles contiennent donc des composés qui n'existent pas dans l'eau de mer sous-jacente, en particulier les détergents et les produits pétroliers lourds, qui y seront donc à une concentration plus élevée que dans l'eau de mer proprement dite.(CROUZET, et RESCH F., 1987)

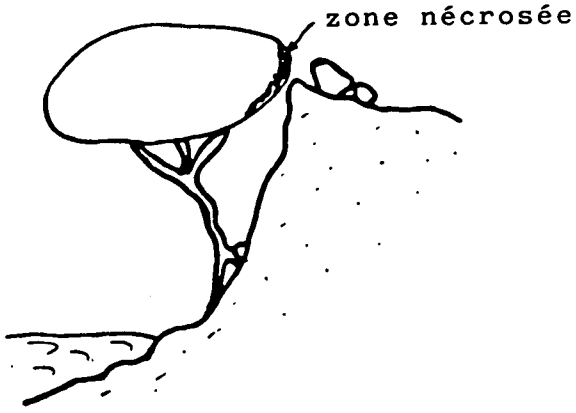
Lors de leur transport par le vent, les embruns subissent une évaporation, qui augmente d'autant la concentration des polluants. L'évaporation conduit à la formation d'aérosols.(CROUZET, et RESCH F., 1987)

L'effet des embruns pollués est favorisé par des vents violents et bien dirigés, une distance des arbres à la mer faible, l'inexistance d'obstacles, une mer agitée et de faibles précipitations.(TRUMAN et LAMBERT, 1978).

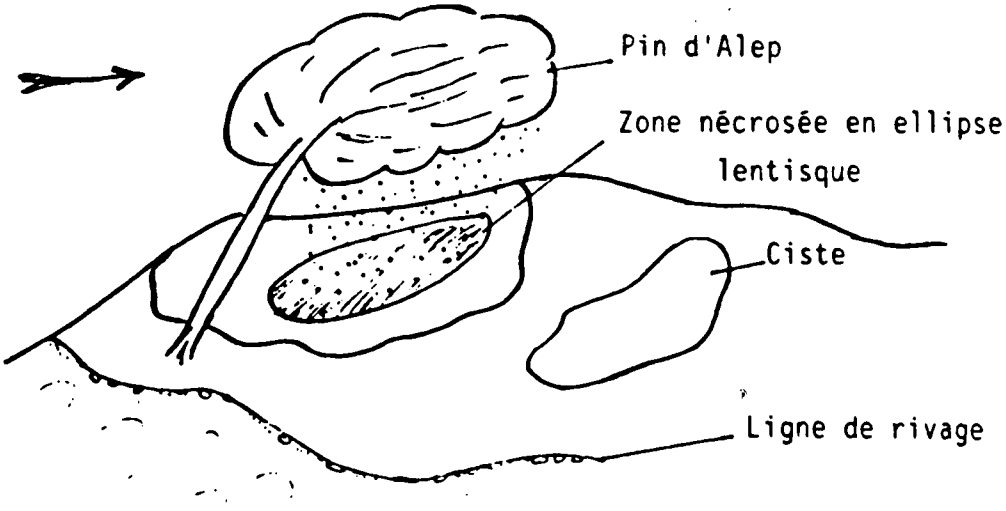
2.3). Le cheminement des polluants :

Des phytosociologues (BOURRELLY, CHEREL, LAVAGNE) ont montré qu'il existait plusieurs modes de cheminement et de réception des aérosols. Ils ont été décrits dans le cadre d'un article du professeur A. LAVAGNE : "Impact des aérosols marins pollués sur la végétation littorale de la rade d'Hyères - premier constats" en région méditerranéenne.

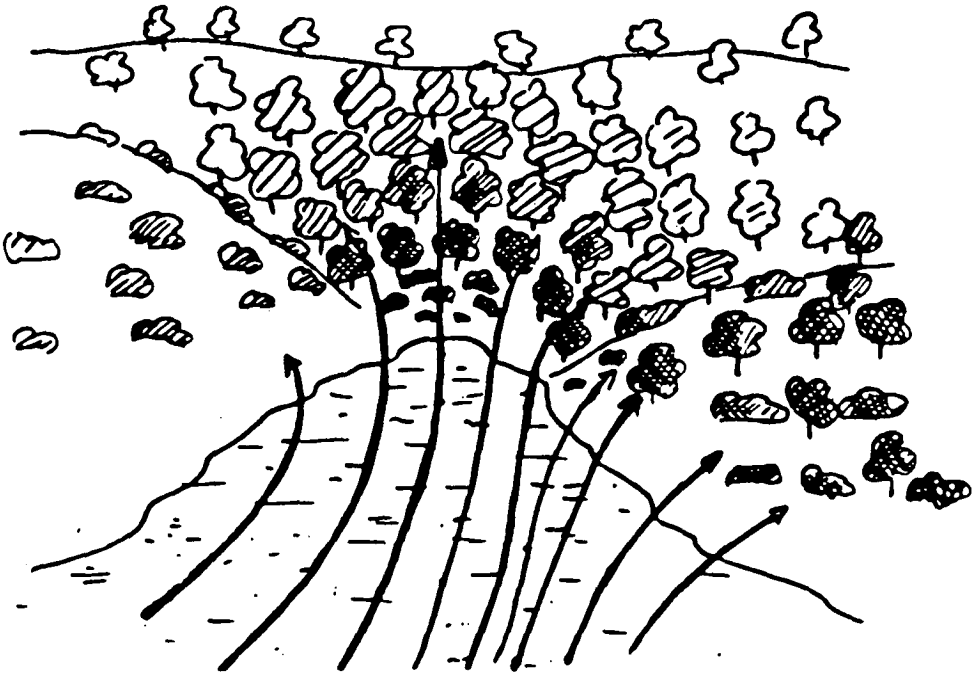
L'arrivée des aérosols sur la végétation peut être directe, avec des effets d'éventail et des effets d'engouffrement qui correspondent à la fermeture de l'éventail. Les embruns sont transportés par le vent et projetés sur la végétation.



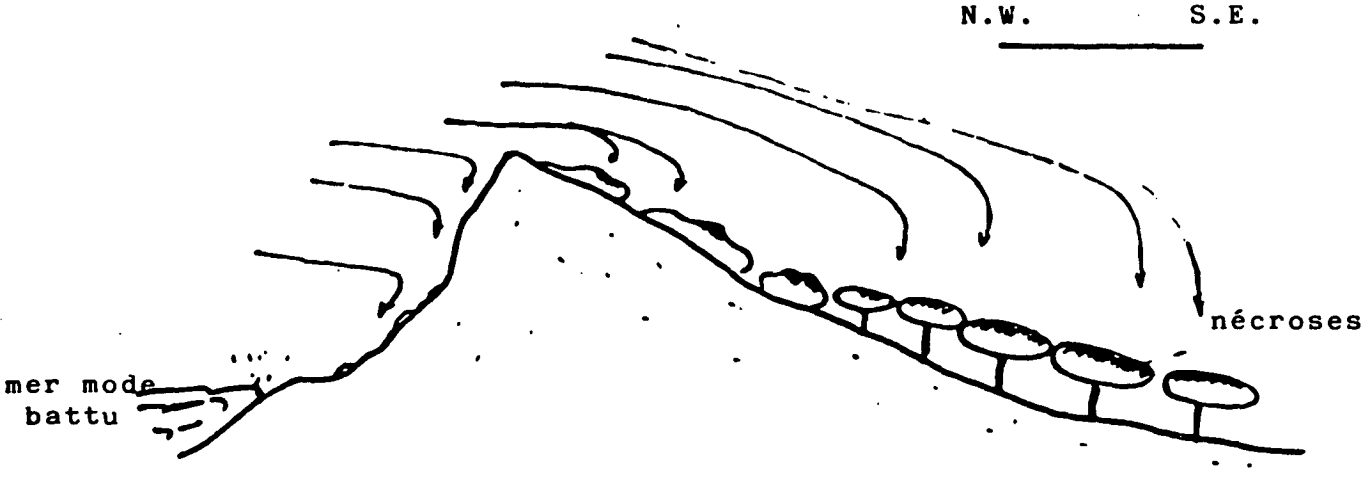
Effet de condensation (Giens Sud) (LAVAGNE, 1990)



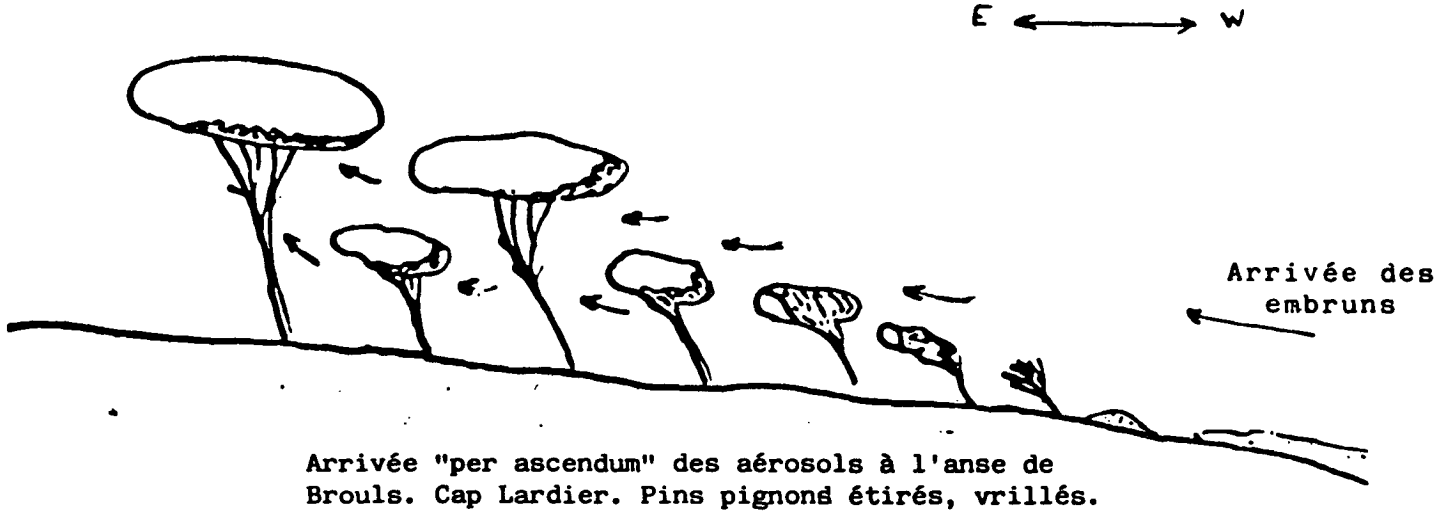
Effet "goupillon" ou panier à salade. Porquerolles Courtades (LAVAGNE, 1990)



Effet d'éventail à la Calanque de Coulontre - Port Cros
(BOURRELLY - CHEREL, 1985)



Arrivée "per descendum" des aérosols à Giens N.W.
(LAVAGNE, 1990)



Arrivée "per ascendum" des aérosols à l'anse de Brouls. Cap Lardier. Pins pignons étirés, vrillés.
(LAVAGNE, 1990)

Le dépôt et l'action des embruns sur la végétation peuvent aussi être indirects :

- à courte distance, les aérosols peuvent arriver et agir par dessus le couvert végétal (effet "per descendum"), ou par le dessous du couvert en s'élevant entre les strates (effet "per ascensum"). voir figure

- à longue distance (à 100-200 m et plus), ou pollution diffuse, qui dans ce cas n'est pas véhiculée par le vent, mais qui provient d'une condensation de nébulosité par temps brumeux et très humide. Cette condensation peut se faire à la faveur d'un obstacle. voir figure

D'autres effets particuliers ont été décrits. Ainsi l'effet "goupillon" ou "panier à salade" qui correspond à des taches de nécroses circulaires d'une strate arborée inférieure. Ces nécroses seraient dues à une restitution des aérosols accumulés par le couvert végétal supérieur. (LAVAGNE, 1990)

2.4). Les effets des détergent et des hydrocarbures sur la végétation :

2.4.1). Les détergents

Les principales sources de détergents sont les rejets des eaux usées d'origine industrielle et ménagère qui ne sont pas ou peu traitées. A titre d'exemple la Méditerranée recevait en 1985 60000 tonnes de détergents par an, dont 5 tonnes évacuées quotidiennement par le grand collecteur de Marseille. Pour rendre inoffensives ces 5 tonnes il faudrait 100 000 000 m3 d'eau pure. En milieu marin, la dégradation de ces produits par les microorganismes prend 5 mois (MONNIER-BESOMBES cité par GARTNER E., 1985).

Les détergents peuvent être utilisés pour diluer et dissoudre les hydrocarbures répandus par accident ou non à la surface de la mer.

Les détergents sont des composés lipophiles, ils ont une faible tension de surface. Par cette propriété, un plus grand nombre de bulles sera formé avec le même volume d'air. La

surface de formation des gouttes est plus grande. De ce fait, les détergents augmentent le transfert des embruns vers l'atmosphère.

Au niveau du végétal, la faible tension de surface des détergents va leur permettre de s'étaler de façon plus importante à la surface des feuilles.

La mise en évidence de l'action synergique des détergents et du NaCl a été réalisée au laboratoire (Gellini et al., 1985) par pulvérisation d'eau de mer pure avec ou sans détergent sur de jeunes pins pignons (Pinus pinea). Ces expériences ont également permis de déterminer les taux de toxicité des détergents.

Des pulvérisations d'eau non salée contenant uniquement des détergents, provoquent l'apparition de taches jaunes de taille variable et proportionnelle à la concentration des détergents. L'effet maximal est obtenu 2 à 3 mois après pulvérisation de 0,5 g/l de détergents.

Les pulvérisations de NaCl seul, n'induisent que quelques points de nécroses correspondants au dépôts du sel.

Par contre l'addition de détergents à l'eau de mer non polluée, montre un effet nécrotique maximum 7 à 15 jours après la pulvérisation pour une concentration en détergents de 0,5 g/l. Donc pour une même concentration en détergents les dommages apparaissent plus rapidement.

Les surfactants (composés actifs des détergents) agissent sur la perméabilité de surface des feuilles, en altérant les structures cuticulaires. Au niveau des stomates des aiguilles de pins, la pulvérisation des détergents favorise la coalescence des fibres cireuses dont ils sont recouverts. Il y a alors formation d'un bouchon qui disparaît, les stomates sont découverts et constituent à ce moment une voie d'entrée pour des substances phytotoxiques ou non (GRIEVE et PITMAN, 1978). L'augmentation de perméabilité cuticulaire va permettre d'accroître les échanges avec l'atmosphère, outre l'entrée du sel et d'autres composés toxiques, il y aura des pertes d'eau non négligeables.

High sensitivity

All deciduous broadleaves
Ammophila littoralis Rothm.
Arbutus unedo L.
Calystegia soldanella R. Br.
Cupressus arizonica Greene
Cupressus macrocarpa Hartw.
Cupressus sempervirens L.
Erica arborea L.
Erica scoparia L.
Eryngium maritimum L.
Eucalyptus globulus Labill.
Hedera helix L.
Juniperus communis L.
Juniperus oxycedrus L.
Laurus nobilis L.
Nerium oleander L.
Pancratium maritimum L.
Pinus pinea L.
Quercus ilex L.
Rubus sp.

Medium sensitivity

Elaeagnus angustifolia L.
Ligustrum vulgare L.
Pinus halepensis Mill.
Pinus pinaster Ait.
Pistacia lentiscus L.
Tamarix africana Poir.
Tamarix gallica L.

Low sensitivity

Arundo donax L.
Erianthus ravennae Beauv.
Evonymus japonicus L. fil.
Myrtus communis L.
Phillyrea angustifolia L.
Smilax aspera L.

Very low sensitivity

Pittosporum tobira Ait. fil.

Sensibilité des végétaux, observations dans le Parc de San Rossore (Italie). (GELLINI et al., 1985)

High sensitivity
(Extensive damages within 1 day)

Crataegus monogyna Jacq.
Erica scoparia L.
Fraxinus oxycarpa Bieb.
Periploca graeca L.
Prunus spinosa L.
Quercus ilex L.
Rubus ulmifolius Schott

Medium sensitivity
(Extensive damages within 1–3 days)

Daphne gnidium L.
Ligustrum vulgare L.
Pinus pinea L.
Pistacia lentiscus L.

Low sensitivity
(Scarce damages within 3–7 days)

Erianthus ravennae Beauv.
Pinus pinaster Ait.
Smilax aspera L.

Very low sensitivity
(Very scarce damages over 7 days)

Phillyrea angustifolia L.
Pittosporum tobira Ait. fil.

Sensibilité des végétaux selon leur temps de réponse après pulvérisation avec du NaCl (30 g/l) + ABS (5g/l). (GELLINI et al., 1985)

Les surfactants agissent également en solubilisant la partie lipidique des membranes (plasmalemmiques, plastidiales, vacuolaires), ce qui entraine une perturbation des échanges membranaires, donc de la physiologie de la feuille.

Cette augmentation de la perméabilité des feuilles se manifeste par des concentrations élevées en Na^+ et Cl^- dans les tissus foliaires (DOWDEN et al., 78 ; MOODIE et al., 1986).

Une liste de végétaux sensibles aux embruns pollués a été établie par Gellini et son équipe en 1985, à partir d'observations faites en nature et d'observations consécutives à des pulvérisations d'eau additionnée de sel et de détergents (voir tableau).

2.4.2). Les hydrocarbures :

Ils sont apportés en mer par le trafic maritime et les industries liées au pétrole. Ils présentent une grande menace, surtout lorsqu'ils sont associés aux détergents.

Les hydrocarbures sont des composés lipophiles, et comme les détergents ils sont localisés principalement à la surface de la mer. Ils sont concentrés au niveau de la cuticule de la feuille, dont la structure peut être altérée par certains d'entre eux.

L'effet toxique de différents composants d'un fuel lourd (hexadécane, phénanthrène, et naphtalène) sont démontrés par des pulvérisations d'eau de mer synthétique contenant des détergents sur des cultures de tissus de Psoralea bituminosa. Il en ressort que les hydrocarbures inhibent la croissance des cellules végétales (en synergie avec les détergents), cependant les alcanes sont moins inhibiteurs que les aromatiques (Faculté de St Jérôme, 1980).

Les hydrocarbures agissent à des concentrations 10 fois plus élevées que les détergents, mais ils sont 10 fois plus abondants (en région méditerranéenne, les détergents sont estimés à une concentration de 0,1%, et le fuel à 1%).

Les hydrocarbures circulent par les faisceaux libéro-ligneux dans la plante après l'action des détergents et s'accumulent dans les parties méristématiques. Les expériences sur les cals

de Psoralea bituminosa ont montré l'existence d'une synergie d'action pour les hydrocarbures et les détergents.

La sensibilité des végétaux aux aérosols pollués varie dans le temps. Les dommages sont maximum lorsque les plantes sont dans un état de grande réceptivité (plantes en poussée végétative), en même temps qu'une arrivée massive d'aérosols pollués (tempêtes).(LAVAGNE, 1990)

Signalons ici que le dépérissement des végétaux attribués aux embruns marins pollués n'a été clairement démontré que sur le littoral méditerranéen.

3). Le dépérissement des végétaux causés par des problèmes de sol

La majeure partie des problèmes de dépérissement liés aux conditions du sol est rencontrée surtout sur les dunes du littoral. C'est pourquoi nous nous limitons à ce cas particulier.

Comme nous l'avons vu en première partie, les sables dunaires sont pauvres en éléments nutritifs. Ces carences induisent un dysfonctionnement de la physiologie de la plante, qui peut être accentué par des conditions climatiques défavorables, aboutissant alors à un affaiblissement généralisé de l'arbre qui devient une cible facile pour les parasites.

Les sables dunaires sont également fortement déficitaires en eau.

3.1). Les carences :

Les carences minérales les plus souvent signalées concernent les éléments azote, phosphore et potassium.

3.1.1). L'azote :

Une carence en azote se manifeste surtout au niveau des feuilles les plus âgées ou les feuilles inférieures. La plante a un aspect vert pâle. Les feuilles inférieures sont jaunes ou violettes passant au brun clair par dessèchement. Les feuilles carencées en azote sont plus petites. La croissance aérienne est fortement ralentie, par contre il y a allongement des racines.

3.1.2). Le phosphore :

Les plantes carencées en phosphore sont vert foncé, se colorant souvent en brun ou noir. La croissance des parties aériennes est ralentie de même que celle des racines.

3.1.3). Le potassium :

Quant à la carence en potassium, elle se manifeste par des feuilles inférieures marbrées ou chlorotiques avec des taches de nécroses plus ou moins étendues. Les nécroses sont généralement à l'extrêmité de la feuille entre les nervures. Les bords de la feuille sont ondulés et recroquevillés. Chez les résineux, il y a un jaunissement du bout des jeunes aiguilles. La croissance est ralentie par réduction de la longueur des entre-noeuds, la plante à un aspect buissonnant.

3.2). Les excés :

Les excès en éléments minéraux les plus souvent rencontrés en bordure du littoral sont les excès en calcaire, en sodium. Le sodium en excès est toxique quand il s'accumule dans la plante. Sa toxicité se manifeste par une réduction générale de la croissance, ainsi que par des nécroses des feuilles et des bourgeons, en fait le dépérissement de l'arbre. Cependant, cet effet toxique peut être réduit par la présence du calcium qui limitent la pénétration et la circulation du sodium dans la plante.(JENNINGS, 1976).

3.2.1). Le calcium :

Le calcium dans le sol est un antagoniste pour l'absorption d'autres minéraux, tels que l'azote, le fer, manganèse, bore, zinc, et le soufre. Cette perturbation de la nutrition minérale se traduit par une chlorose, un jaunissement et un dessèchement du feuillage, des rameaux, voir même de l'arbre entier.
La présence des ions Ca^{2+} dans le sol s'oppose également à la pénétration du sodium et à son transport dans la plante. Pour empêcher le sodium d'agir, il faudrait apporter du calcium sous forme de carbonate, ce qui est un paradoxe dans des sols déjà calcaire.

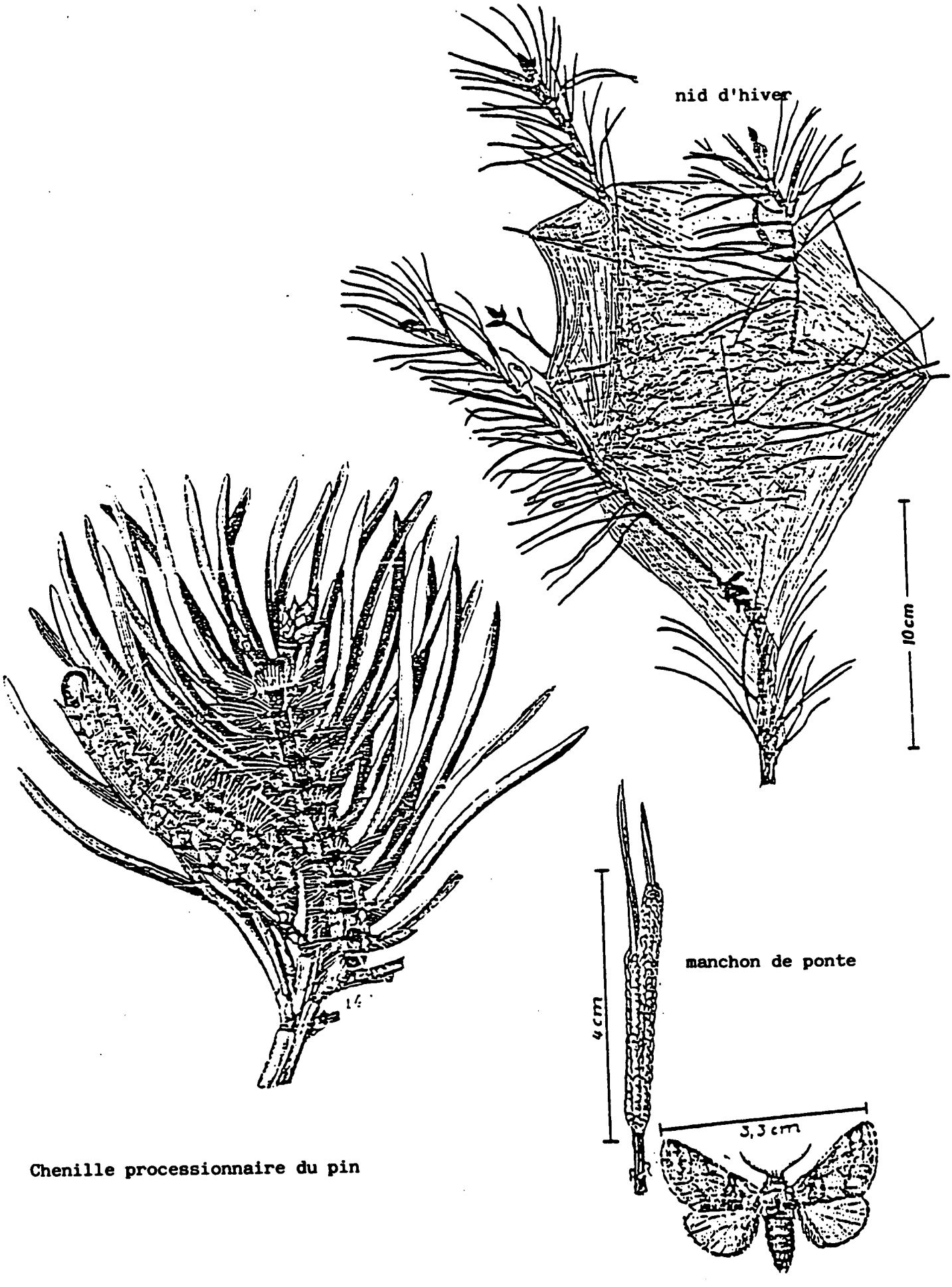
3.2.2). Le sodium :

Le sodium peut se présenter dans le sol sous la forme de sel de chlorure ou de sel de carbonate. Lors de fortes pluies, le sodium est libéré dans le sol, ce qui a pour effet d'augmenter la pression osmotique du sol (respectivement une diminution du potentiel hydrique du sol). La plante est dans une situation de stress hydrique. L'eau devient difficile d'accès pour la plante. Sa première réaction est une déshydratation partielle des tissus.

3.3). Le stress hydrique :

Lors d'un déficit hydrique, la croissance de la plante est inhibée, et celle-ci est plus importante au niveau des parties aériennes qu'au niveau des parties racinaires.

Les adaptations à ce stress peuvent être morphologiques et/ou physiologiques. Ainsi, chez certains arbres, l'influence du stress peut se manifester par un changement morphologique du système racinaire, tel que la prolifération des racines latérales et une plus grande extension verticale, pour une meilleure exploitation de l'eau.



Chenille processionnaire du pin

DSF

Un autre moyen pour le végétal de s'adapter est d'augmenter sa pression osmotique intracellulaire. Pour ce faire, elle augmente la quantité de solutés osmotiquement actifs dans les tissus, par exemple en important des ions potassium.

Le rôle des ions potassium dans l'ajustement osmotique chez le pin maritime a été démontré par NGUYEN A. et LAMANT A. en 1989b.

En Vendée, l'hypothèse de l'implication du sodium dans le dépérissement du pin maritime a été émise, suite aux taux anormalement élevés de celui-ci dans les feuilles.(MAGNIN, 1990).

B-LES FACTEURS BIOTIQUES

Toutes les descriptions et planches proviennent des fiches éditées par le Département de la Santé des Forêts, sauf mention contraire.

Les maladies présentées dans ce chapitre ne sont pas localisées spécifiquement sur les côtes. Elles sont liées aux essences les plus représentées sur le littoral. Il s'agit surtout de résineux, et à un moindre degré de feuillus.

1). Les maladies des résineux :

1.1). Les insectes :

a). La chenille processionnaire du Pin : Thaumetopoea pityocampa (Lépidoptère, Thaumetopeide)

La processionnaire du Pin est un défoliateur important des peuplements de résineux, reconnue déjà du temps des Romains.

Outre les pins, la chenille processionnaire peut également s'attaquer au Cèdre, au Douglas, ainsi qu'au Cyprès de Lambert.

La processionnaire a une génération par an. Le papillon nocturne a une vie très brève. Il vole de fin juin à août. Les

oeufs sont pondus autour d'un groupe d'aiguilles sous la forme d'un manchon. La chenille se nourrit des aiguilles la nuit. Cette consommation augmente avec leur stade de développement. En automne elles se préparent à hiverner en tissant sur la partie la plus ensoleillée de l'arbre un nid d'hiver ou nid définitif. La chenille processionnaire est responsable d'importantes défoliations en hiver et au printemps, celles-ci peuvent induire des mortalités dans les jeunes peuplements. La construction du nid d'hiver entraine souvent une anomalie de l'architecture des arbres par la destruction de la flêche.

D'autre part la chenille possède des poils urticants responsable dans certains cas de réactions d'hypersensibilité, qui peuvent se manifester par des oedèmes. Ces urtications peuvent gêner les travaux forestiers et porter préjudice au tourisme.

Il est rare que la processionnaire remette en cause la survie d'un peuplement, pour cela il faut des attaques répétées et/ou la conjonction de facteurs d'affaiblissement (sécheresse, sénescence) favorisant l'installation de ravageurs secondaires qui sont les vrais tueurs des arbres. (SCHVESTER, 1985).

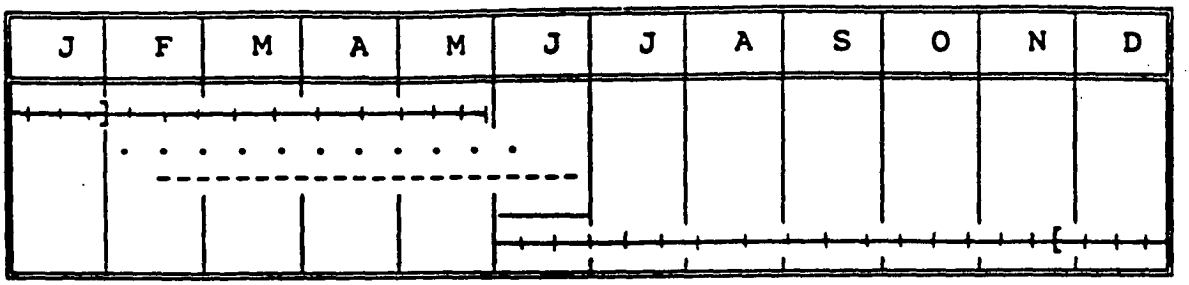
Elles s'attaquent surtout aux arbres installés dans les peuplements ouverts, en lisières sud, dans les clairières des peuplements fermés et aux arbres isolés en crêtes.

En France, ses attaques sont localisées dans toute la moitié sud, notamment sur le pourtour méditerranéen, et le long de la côte atlantique jusqu'en Bretagne.

Depuis 1970, les moyens de lutte utilisés sont pour l'essentiel des préparations à base de Bacillus thuregiensis ou de difluorbenzuron. Ces traitements sont faits par hélicoptères.

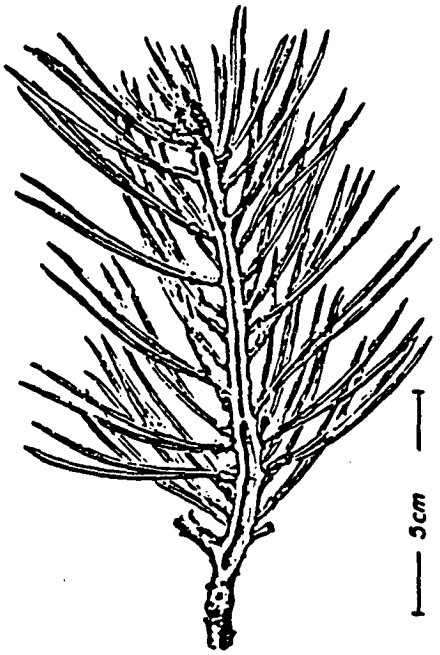
Pour que ces traitements aient un maximum d'efficacité, il faut déterminer la date d'application (avant la culmination), et traiter simultanément des surfaces importantes pour éviter les réinfestations l'année suivante en provenance des aires non traitées.

En 1969, le CEMAGREF a mis en place un réseau de surveillance sur l'aire de la processionnaire. Le réseau a pour but d'estimer le niveau des populations, les risques

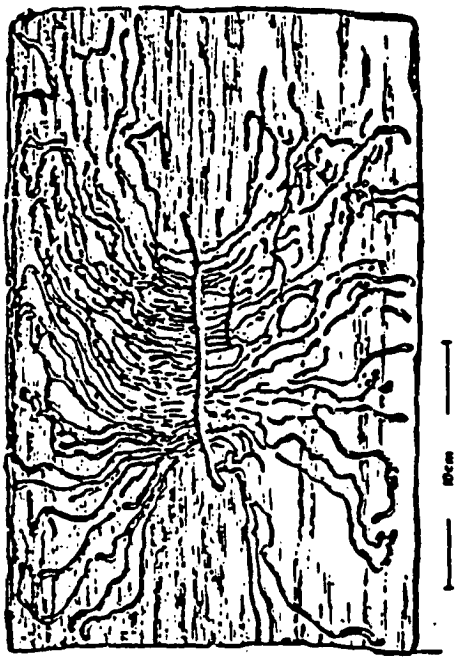


adultes dans les pousses

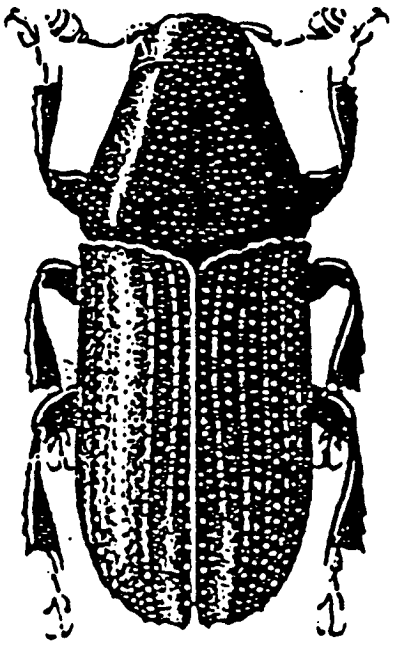
. . . : oeufs --- : larves ——: nymphes +—+—+: adultes
[ ] : interruption de développement (hibernation)



Dégâts sur pousse



Galeries sous-corticales



Adulte

DSF

L'hylésine du pin

d'infestation, et le moment favorable pour traiter, ce qui dépend des régions.

b). L'hylésine du pin : Tomicus piniperda (ancienne appellation : Blastophagus piniperda)

C'est un Insecte , Coléoptère, Scolityde.
Les autres hôtes de l'hylèsine sont le sapin pectiné (Abies pectina), le mélèze (Larix decidua), et l'épicea (Picea excelsa). Les adultes apparaissent à partir de juin, ils migrent dans les houppiers pour effectuer leur repas de maturation qui a lieu dans les pousses de pin. Ils pénètrent dans la pousse par un trou d'entrée suivi d'une galerie axiale.
Le développement larvaire s'effectue sous l'écorce épaisse de la partie inférieure des troncs.

Comme dans toutes les attaques d'insectes sous-corticaux, les galeries creusées provoquent une perturbation de la circulation de la sève, entrainant la mort des arbres attaqués.

Ce qui distinguent les attaques d'hylèsine des attaques des autres insectes sous-corticaux, c'est le dessèchement des bourgeons et la chute des pousses terminales minées. Ces dernières sont un élément de diagnostic important lorsqu'elles sont retrouvées à terre.

Quelques fois les attaques d'hylésine sont accompagnées par un champignon (Ceratocystis) qui modifie la couleur du bois, on observe généralement un bleuissement.

En 1983-84, d'importantes attaques d'hylésine ont été signalées en Petite Camargue sur pin pignon. Ces attaques semblent consécutives à un affaiblissement du à la forte tempête de novembre 1982.(Du Merle, communication personnelle)

L'identification des insectes sous-corticaux peut se faire par la reconnaissance de la forme, de la dimension des galeries, de leur orientation (LIEUTIER, 1988).

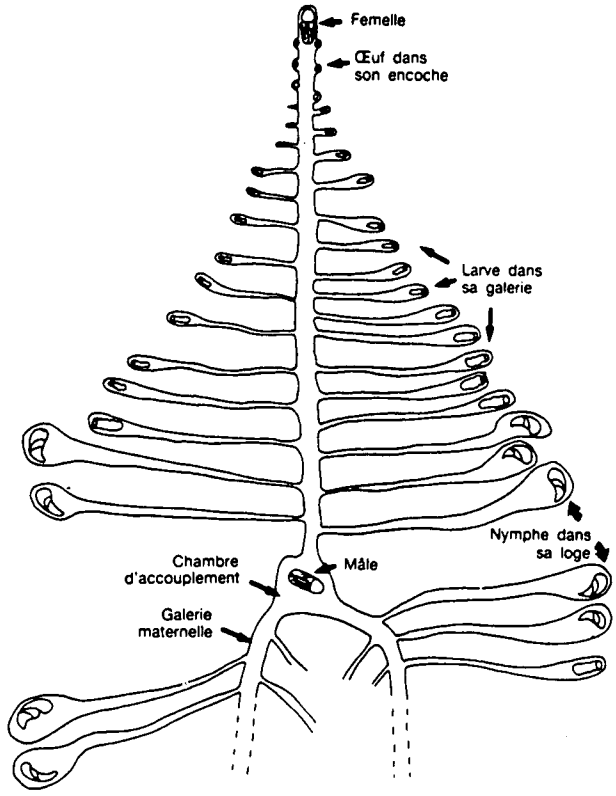
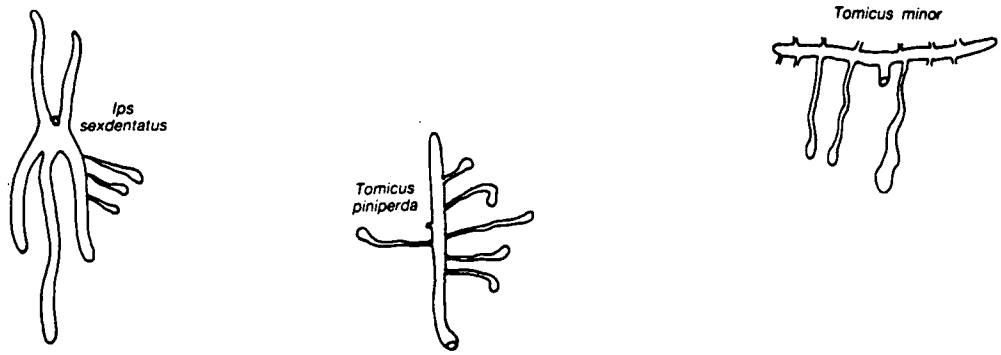
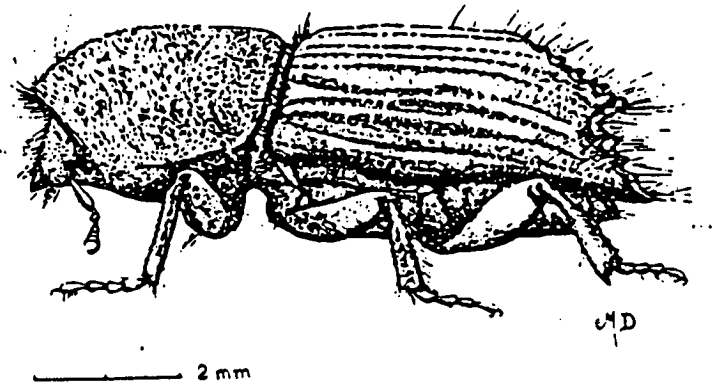


Schéma-type d'un système de galeries sous-corticales de scolytes des Conifères (LIEUTIER, 1988)

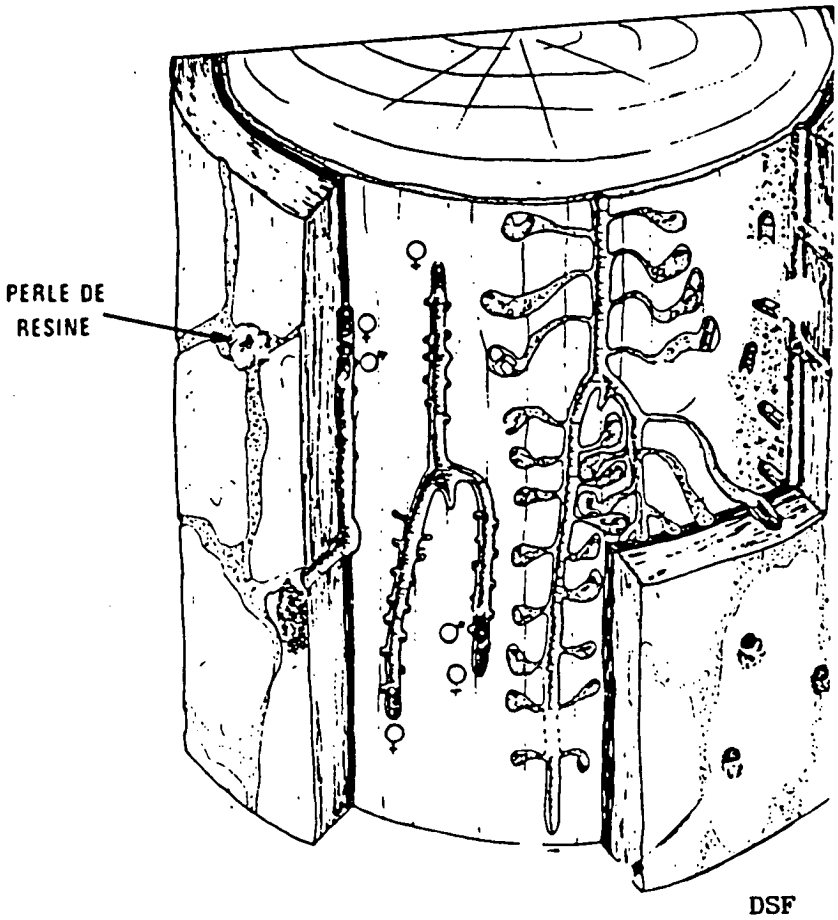


Systèmes de galeries de scolytes (LIEUTIER, 1988)

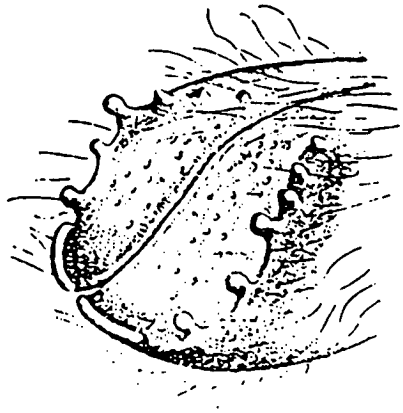
Ips sexdentatus



Ips sexdentatus BOERN. adulte vu de profil.



Galeries sous corticales



Sélectivité élytrale du mâle

c). Le sténographe : Ips sexdentatus (Insecte, Coléoptère, Scolytidae)

Les hôtes du sténographe sont les pins, l'épicéa, et le sapin.

La majeure partie de la biologie du sténographe se déroule sous l'écorce.

Il peut y avoir 2 générations par an : la première en avril-mai, la seconde en juillet-août en fonction de la température.

L'alimentation des adultes se fait sous l'écorce avant ou après essaimage.

Le sténographe agit en ravageur secondaire : il ne s'attaque qu'à des sujets affaiblis ou dépérissants, ou à la suite d'attaques par d'autres insectes (des défoliateurs par exemple). Cependant il peut se comporter en ravageur primaire, en cas de forte pullulation. Les morts occasionnées sont consécutives à la destruction des tissus conducteurs, notamment du xylème.

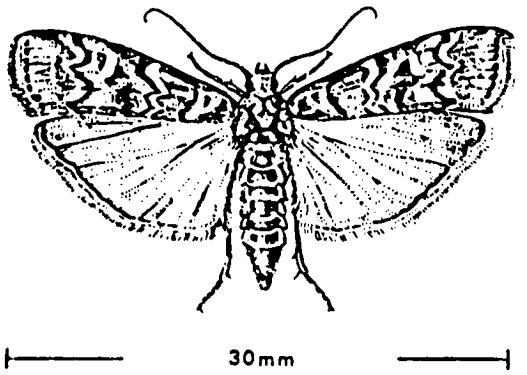
Les attaques de sténographe se manifestent au niveau du feuillage par un jaunissement et un brunissement du houppier, au niveau du tronc par des écoulements de résine et des déchets de vermoulure, par des galeries sous-corticales caractéristiques. Le sténographe est un scolyte de grande taille 8 mm.

d). La cochenille du pin maritime : Matsucoccus feytaudi (Homoptère, Coccoide, Margaradide)

Les adultes apparaissent fin janvier, et seul les mâles sont ailés. Les oeufs éclosent à la fin mars. Il y a deux stades larvaires. Les larves de premier stades sont mobiles, se fixent au fond des anfractuosités de l'écorce du tronc ou des grosses branches. Elles se nourrissent en implantant leur stylet (pièces buccales suceuses) dans le liber. Les larves de deuxième stade sont apodes, ce sont elles qui donnent les adultes.

Les infections par Matsucoccus concernent surtout la Provence cristalline. La cochenille a été observée pour la première fois en 1958 dans le Var. Dans les Alpes Maritimes sa pullulation a provoqué en moins de 20 ans la destruction ou

Dioryctria sylvestrella



Papillon



DSF

Dégât caractéristique :
pralines en forme d'entonnoir sur branche de Pin Weymouth

l'exploitation à la hâte de 120 000 ha de pins maritimes. La cochenille Matsucoccus feytaudi est une cause première du dépérissement du Pin maritime.

Matsucoccus existe aussi en région atlantique, mais son impact est moins grave. Elle agit la plupart du temps par des attaques ponctuelles, sans lendemain. De tels phénomènes ont été observés dès 1967 dans le massif forestier de St Jean de Monts en Vendée, en 1983 à La Baule et à Saint Brevin. Les printemps peu humides favorisent la survie des larves.(Du Merle, communication personnelle)

Généralement, Matsucoccus ne provoque pratiquement pas de mortalités. Seulement leur pullulation provoque un affaiblissement général de l'arbre, qui profite aux secondaires comme par exemple l'hylésine. Ces secondaires sont les véritables tueurs des arbres.

Les attaques de Matsucoccus sont reconnaissables au niveau des pousses par un jaunissement, au niveau des écailles de la base des pousses par la présence de petits grains noirâtres de 1 à 2 mm, et une zone interne du liber plus ou moins translucide, et sur le tronc par la présence de filaments blancs et de petits grains noirâtres en files plus ou moins longues dans les anfractuosités de l'écorce.

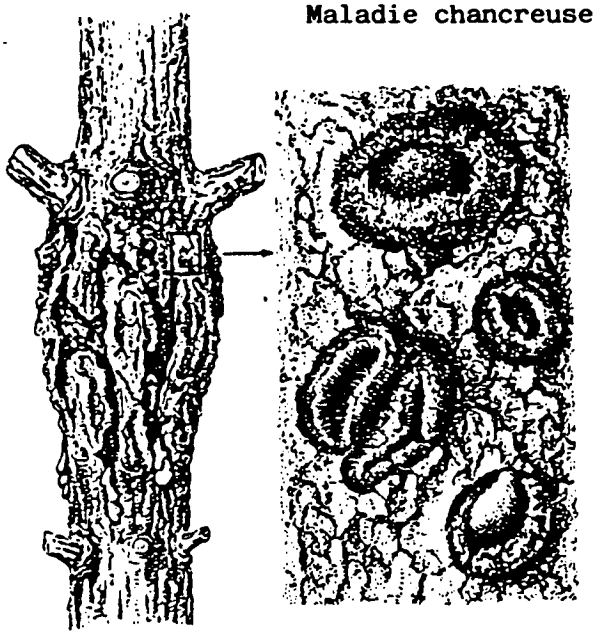
Le pin maritime devient sensible à Matsucoccus dès que l'écorce se craquelle.

e). La pyrale du tronc : Dioryctria sylvestrella (Insecte, Lépidoptère, Pyralidé)

Le papillon vole en juillet-août. Il pond des oeufs isolés sous l'écorce ou au niveau de blessures de fin juillet à début septembre. La chenille d'une longueur de 1 à 3 cm pénètre dans les couches internes du liber, ce qui provoque d'importants écoulements de résine accompagnés d'excréments et de débris le tout ressemble à des pralines en forme d'entonnoir. Après l'hivernation, la chenille continue son développement et se chrysalide. Les papillons sortent par les pralines.

Les attaques de pyrale se font à la faveur de plaies, soit d'élagage, ou faites par le gibier, voire par des champignons.

Maladie chancreuse du pin d'Alep



Chancre sur tronc Apothécie

DSF

La présence de pralines résineuses en forme d'entonnoir constitue le principal élément de diagnostic. Ces pralines ont une couleur jaune à rouge violacé . La chenille est présente sous la praline de l'hiver à l'été. Sous la praline on découvre des galeries circulaires.

1.2). Les pathogènes des résineux :

a). La maladie chancreuse du pin d'Alep : Crumenulopsis sororia

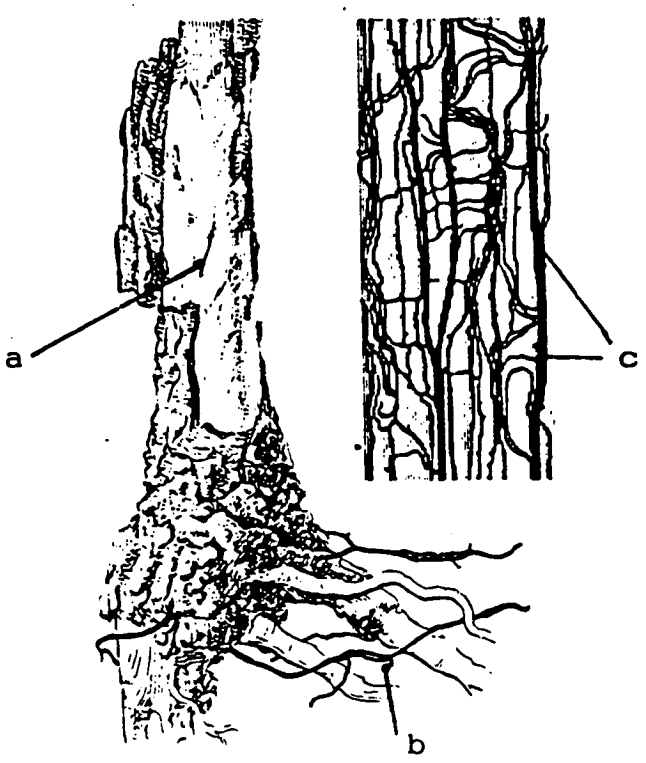
C'est un champignon Ascomycète, agent de chancre des rameaux. Il pénètre par des blessures. La contamination se fait en été et/ou en automne. La réceptivité des pousses à l'inoculum augmente avec l'âge. Les chancres apparaissent selon trois stades successifs : au niveau du point d'entrée du champignon, une zone déprimée en forme de bouton apparaît, il s'en suit une desquamation des rameaux par soulèvement de l'écorce rompue, sous l'écorce tombée apparait un jeune chancre qui attaque en profondeur l'assise cambiale. Le chancre est accompagné généralement par des écoulements de résines.

Un climat pluvieux est favorable à la recrudescence de Crumenulopsis, alors que le pin d'Alep préfère la sécheresse. Ainsi, en condition favorable pour l'agent de chancre, le pin d'Alep sera plutôt affaibli, ce qui augmente d'autant plus sa réceptivité (Morelet, communication personnelle).

Il est à noter que ce sont surtout les peuplements situés vers l'intérieur qui sont touchés.

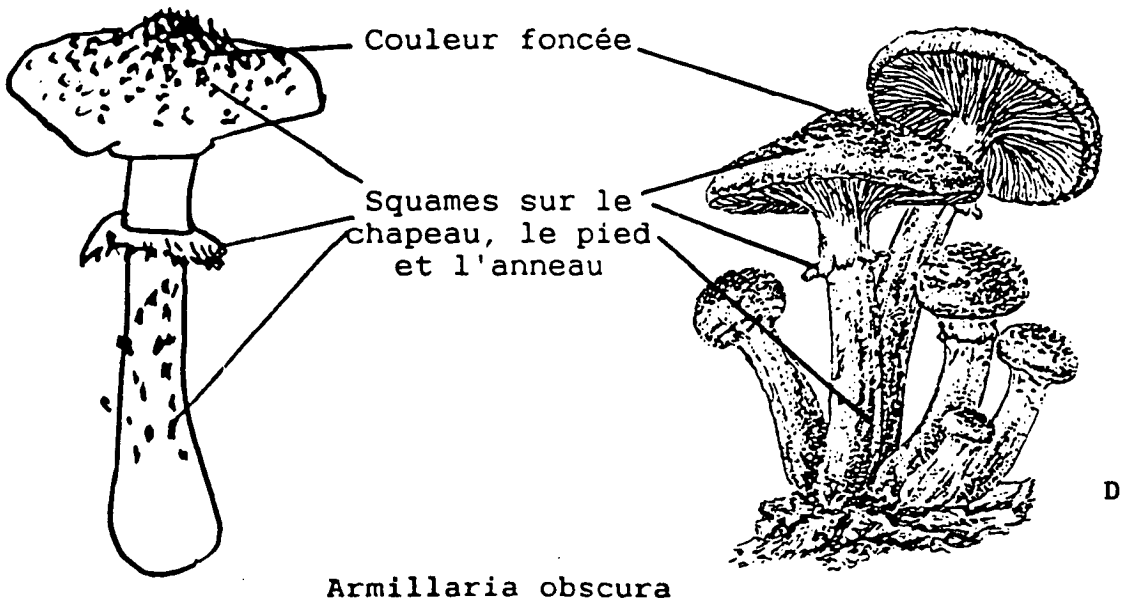
Sur les branches atteintes par le chancre, on constate des pertes d'aiguilles. Dans les cas graves, les parties des rameaux situées au dessus du chancre se dessèchent. Chez les jeunes pins d'Alep, la présence de nombreux chancres sur les rameaux provoquent leur dessèchement.

Les dégâts de cette maladie sont généralement décrits comme ceux dus à une forte grêle.



Symptômes de la présence d'*Armillaria sp.*
sur un arbre :

a : mycélium blanc, tenu, en "peau de chamois"
b : rhizomorphes noirs, racinaires, cylindriques
c : rhizomorphes noirs sous-corticaux, applatis



DSF

Armillaria obscura

b). L'armillaire des résineux :

Ce champignon Basidiomycète de l'ordre des Agaricales, peut aussi bien infecter les résineux que les feuillus.

On le trouve au niveau du collet sous la forme d'un mycélium en lame, entre l'écorce et le bois. Ce mycélium colonise le système racinaire. La dissémination et la contamination se fait dans le sol par les rhizomorphes (cordons mycéliens souterrains), qui servent également d'organes de conservation à la mauvaise saison. Une autre de forme de dissémination sont les basidiospores. Celles-ci sont libérées des lamelles des carpophores (fructifications sous forme de chapeau plus pied). Les carpophores apparaissent en automne.

La propagation de la maladie se fait par contact racinaire des arbres sains et des arbres malades, et par les rhizomorphes.

Par sa localisation au niveau des racines, l'armillaire induit une pourriture de celle-ci, ce qui perturbe l'alimentation en eau de l'arbre. L'arbre meurt par dessèchement.

L'armillaire peut se comporter en pathogène primaire chez les résineux ou en secondaire chez les feuillus.

L'infection par l'armillaire se détecte par la présence d'un mycélium blanc en "peau de chamois" sous l'écorce au niveau du collet et des racines, et par la présence de rhizomorphes sous corticaux (blancs à bruns, plus ou moins ramifiés) et de rhizomorphes souterrains, plus ou moins cylindriques noirs.

c). Coryneum cardinale : (J. PONCHET, 1986)

C'est un champignon microscopique de la famille des Melanconiales.

C. cardinale est un agent de chancre qui peut s'attaquer à la plupart des Cupressacées : Cupressus, Thuya, Juniperus, Chamaecyparis...Mais on le rencontre surtout sur les espèces du genre Cupressus. C.macrocarpa (cyprès de Lambert, cyprès de Monterey), C. sempervirens, et Cupressocyparis leylandii sont sensibles au chancre, les plus résistants sont C. arizonica et C. glabra.

La maladie demarre par la partie jeune des arbres, chez les plus âgés il y a un dessèchement de la cime. Elle se manifeste par un jaunissement, et la mort d'un ou plusieurs rameaux.

Il s'agit d'un chancre (dépression de l'écorce du tronc d'où s'écoule un important flot de résine) qui se developpe à l'insertion d'une branche sur le tronc, à la faveur d'une blessure : écorchure, frottement du au vent. Les plaies de taille cicatrisant très vite, ne constituent pas un risque important d'introduction du parasite.

Les premiers symptômes s'observent au printemps avec la reprise de la végétation, et s'accentuent en été. Le développement du chancre peut ceinturer le tronc : les parties supérieures au chancre ne sont plus alimentées, elles se dessèchent.

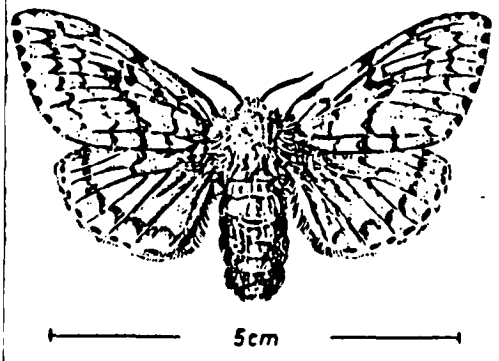
Selon le degré de sensibilité de l'hôte, on peut avoir un ceinturage complet en 2 ans, jusqu'à la formation d'un bourrelet cicatriciel, et la guérison.

L'identification de C. cardinale s'effectue en découpant l'écorce en bordure du chancre. Les tissus sains sont verts en surface, clairs en profondeur, alors que les tissus atteints sont d'abord brun-foncé puis rouge-foncé, de la teinte de la pourpre cardinale (d'où le nom).

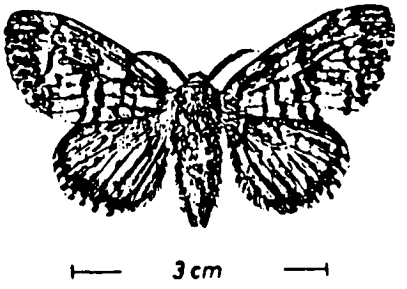
Le mycelium de C. cardinale est localisé au niveau du liber. C'est un champignon qui produit des toxines. La propagation et la dissémination est assurée par des spores, véhiculées par le vent. Certains scolytes participent également à la dissémination du champignon. Cet insecte pond dans les arbres malades, et se nourrit dans les arbres sains au cours de ces déplacements dans les galeries il transporte le mycélium du champignon.

Les arbres morts peuvent produire des spores pendant plusieurs années.

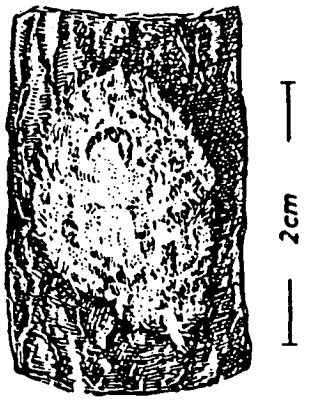
Les techniques de lutte consistent en l'élimination des arbres morts et à leur brûlage. A titre préventif, on peut effectuer des pulvérisations de bénomyl. Les arbres malades ne guérissent que très peu. Un autre moyen de lutte est de planter des arbres résistants.



Femelle

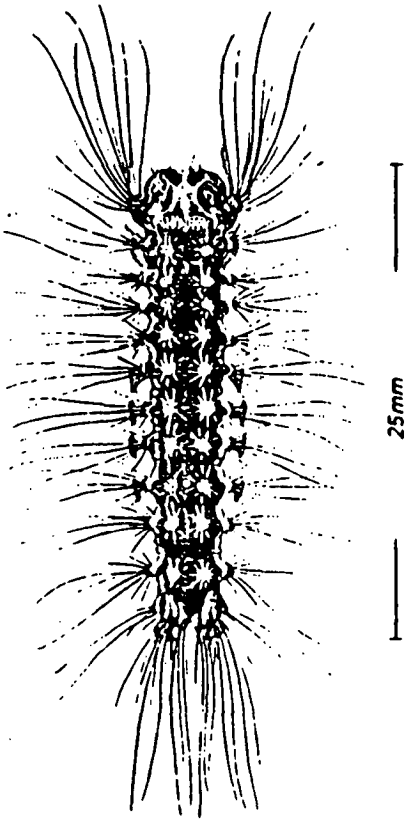


Mâle



Aspect de la ponte sur le tronc

Lymantria dispar



Chenilles à mi-développement

DSF

2).Les maladies des feuillus :

2.1). les chênes :

a). Le bombyx disparate : Lymantria dispar (Insecte, Lépidoptère, Lymantriide)

Les papillons volent en juillet août. Ils pondent leurs oeufs, en été, à la base des troncs. L'éclosion intervient l'année suivante quand les chênes débourrent. Les jeunes chenilles se dispersent dans le feuillage une à trois semaines plus tard.

Ce lépidoptère défoliateur peut en cas de forte gradation (la gradation est la dénomination générale donnée au phénomène selon lequel certains insectes présentent, de façon plus ou moins régulière, des alternatives de pullulation intense, et de latence. Un cycle de gradation comporte : la progradation (élévation progressive du niveau des population, la culmination, la rétrogradation, la latence (Schvester D., 1985)) entrainer une perte totale du feuillage. Les chênes ont alors un aspect hivernal en juillet août, imputable uniquement à ces insectes.

Outre la perte du feuillage, les glandées sont fortement compromises, et des pertes de production ligneuse peuvent exister, allant jusqu'à la mort de l'arbre, lorsque celui-ci est dans des conditions de croissance limites.

b). La maladie du charbon de la mère : Hypoxylon mediterraneum (Champignon, Ascomycète, Pyrénomycète)

Le chêne liège est son hôte habituel, mais le chêne vert, le noyer, le châtaignier et l'eucalyptus peuvent également être atteints.

Ce champignon pénètre dans l'arbre à la faveur d'une blessure. Il y reste dans un état de latence, dont le symptôme initial est une plaie discrète qui laisse suinter par un orifice du liège une exsudation brunâtre à odeur tannique fermentée. Dès que le chêne liège s'affaiblit suite par exemple à une forte sécheresse, le processus infectieux se développe très

rapidement. Il détruit toute la zone subéro-phéllodermique, obligeant peu à peu le liège à se fendre en se détachant du tronc.

Lorsque la zone subéro-phéllodermique est endommagée, les parties situées au dessus du chancre se dessèchent, en commençant par la cime, et le dépérissement se généralise à tout l'arbre entrainant la mort du sujet.

Le diagnostic est établi par la présence de plaques carbonacées dures, noires, brillantes, d'abord sous-corticales, puis erumpantes, apparaissant dans les fissures longitudinales de l'écorce.

Hypoxylon mediterraneum est un parasite de faiblesse, son apparition est souvent liée à une sécheresse prolongée, un appauvrissement du sol, des blessures diverses, un démasclage mal effectué (trop brutal).

2.2). La graphiose de l'orme :

L'agent responsable de la maladie est un champignon microscopique qui se présente sous deux formes, une forme asexuée (Graphium ulmi) et une forme asexuée (Ceratocystis ulmi).

Ce champignon se développe au niveau du xylème. Il s'y nourrit de la sève brute.

La dissémination du parasite s'effectue par contact racinaire entre un arbre sain et un arbre malade, par les scolytes, ou encore par le vent, ou la pluie.

Les premiers symptômes apparaissent dès le printemps par un retard dans le débourrement des bourgeons.

En été, les feuilles se dessèchent précocement. Ce dessèchement des feuilles et des rameaux est localisé directement au dessus des attaques du champignon. Les branches inférieures sont encore feuillues.(PINON, 1986)

En ce qui concerne les maladies des platanes (anthracnose, tigre, chancre coloré) et pour plus de détail sur la graphiose

de l'orme veuillez vous reporter au "Dépérissement des arbres en ville" publié par le STU. (PEULON, 1988)

C-RESULTAT DE L'ENQUETE SUR LE DEPERISSEMENT DE LA VEGETATION EN BORDURE DU LITTORAL

1). Présentation de l'enquête :

L'enquête a été menée dans les 26 départements côtiers, auprès des Directions Départementales de l'Equipement, des Directions Départementales de l'Agriculture et de la Forêt, de l'Office National des Forêts, du Conservatoire du Littoral et des Rivages Lacustres, des Services Régionaux de la Protection des Végétaux, du Département Santé des Forêts, des Universitaires, des Directions Régionales de l'Architecture et de l'Environnement, de l'Institut National de la Recherche Agronomique, des services des espaces verts de différentes communes et ports autonomes.

Soit un total de 150 lettres.

L'enquête a durée 6 mois, et environ 50% des réponses ont été obtenues.

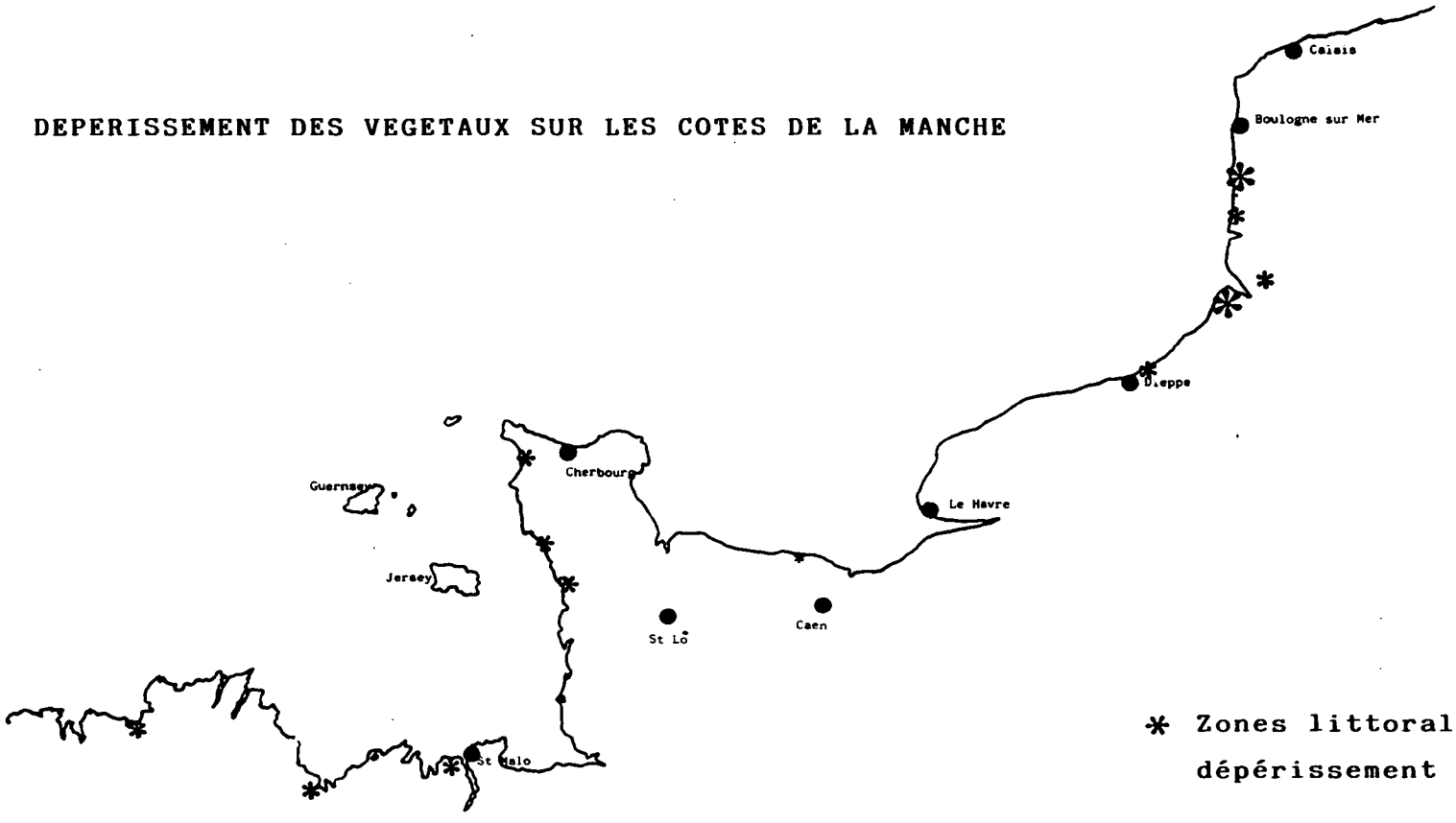
2).Observations recueillies :

2.1). Les côtes de la Manche :

a). Le Nord

Les seuls peuplements forestiers en bordure du littoral sont les communes de Zuydcoote et de Bray-Dunes, aucun dépérissement important n'y est signalé.(DDAF)

DEPERISSEMENT DES VEGETAUX SUR LES COTES DE LA MANCHE



* Zones littorales du dépérissement

b). Le Pas de Calais

Le dépérissement affecte les résineux, surtout le Pin maritime et le Pin laricio, dans la forêt du Touquet, d'Ecault, de Merlimont, du Mont St Frieux, de Dannes, et de Camiers.(DDAF, DSF, CELRL)

A Dannes, la forêt est une futaie de résineux âgés de 25-28 ans. Elle est constituée en majorité de pins maritimes d'origine portugaise, de pins noirs d'Autriche et de pins sylvestres. Ces arbres sont installés sur des sables littoraux calcaires (pH>7) à proximité de la mer (2 km). Les symptômes de dépérissement concernent surtout le pin maritime, et ils se manifestent par un jaunissement du houppier d'intensité variable selon les individus, d'un roussissement et d'un dessèchement des pousses, et d'une mortalité en larges taches ou disséminée. Ce dépérissement du pin maritime est observé depuis une dizaine d'années, il s'est intensifié depuis 1988.

L'origine du dépérissement qui a été avancée serait la conjonction de facteurs biotiques et abiotiques. Les facteurs biotiques sont :

- l'armillaire des résineux présente sur les arbres dépérissants ou récemment morts.
- la présence de quelques hylésines.

Ces deux parasites s'attaquent aux résineux déjà affaiblis pour les achever. La cause première du dépérissement est à rechercher dans les facteurs abiotiques.

La station se caractérise par des sables grossiers filtrants, calcaires, sans doute pauvres en bases échangeables. Le jaunissement pourrait être une chlorose induite par la présence de calcaire actif. L'affaiblissement du pin maritime s'expliquerait aussi par le fait qu'il a été introduit largement au nord de son aire naturelle. De plus l'origine portugaise est sensible au froid, et suite à l'hiver 1984-85, une mortalité importante de cette provenance a été constatée.

A St Frieux, il existe une tache de dépérissement de Pin laricio, qui est à mettre en relation avec la structure

superficielle et carbonatée du sol (roche mère calcaire). Sur ces sols carbonatés le pin laricio a montré un taux de survie de 38% au bout de 14 ans. Aux franges de la tache, le dépérissement s'attenue avec l'augmentation de la profondeur du sol. Aucun pathogène ou insecte n'a été détecté.

La forêt du Touquet est installée sur deux grands types de sol :

- les plateaux avec des peuplement de résineux à base de pins maritimes (dunes littorales anciennes).
- les fonds (sables éoliens résiduels) avec des peuplements feuillus ou mixtes généralement en taillis sous futaie avec le chêne pédonculé qui domine.

Le massif forestier est sur une arène sableuse, qui donne des sols squelettiques et carencés en azote, phosphore et potassium.

Un dépérissement du pin maritime y est observé. Les parties les plus atteintes sont isolées. Les causes invoquées sont : les accidents climatiques (notamment le gel de 85 qui aurait déclenché ce phénomène), les conditions édaphiques difficiles (sol très filtrant, présence de calcaire actif, carences en azote, phosphore, et potassium, humus acide (pH de l'ordre de 4)), le vieillissement des arbres, leur forte densité (manque d'éclaircie), leur provenance (Portugal).

Suite à leur affaiblissement, quelques attaques d'hylésine sont relevées.

Suite au dépérissement du pin maritime, les responsables de la forêt du Touquet envisagent une régénération naturelle du Pin maritime pour remplacer au fur et à mesure les sujets morts. Dans le cas où les semenciers seraient insuffisants, une régénération artificielle de Pin laricio de Corse, jugé plus résistant et plus performant que le Pin maritime, serait réalisée.

c). La Somme

Des dépérissements de résineux sont signalés en forêt de Crécy. Cette forêt constitue par sa position en début de plateau

un des premiers obstacles élevés aux vents d'ouest. Les résineux les plus atteints sont les pins sylvestres en exposition ouest, les thuyas en haies brise-vent autour d'une pépinière, et des épicéas à l'intérieur du peuplement. Les dommages se caractérisent dans les trois cas par un brunissement du feuillage. Dans le cas des pins sylvestres et des épicéas, ces phénomènes sont apparus au printemps 90, suite à la forte tempête du mois de février (brûlure par le sel). Les pins sylvestres reverdissent, signe d'un dépérissement passager. Par contre, le brunissement des thuyas persiste depuis 2 ans ; la cause probable est la sécheresse.(ONF)

Suite à la tempête de février 90 une peupleraie âgée de 2 ans a été envahie par la mer.(DDAF)

d). La Seine Maritime

Aucun dépérissement important a été signalé. La façade maritime de ce département est composée presqu'exclusivement de falaises entrecoupées de valleuses (petite vallée sèche suspendue au dessus de la mer, en raison du recul rapide de la mer). Les seuls problèmes rencontrés sont des pertes d'aiguilles des épicéas dues aux sécheresse de 89-90, localisées en forêt d'Eu et d'Arques, situées à plus de 3 km du rivage (ONF, DDAF)

e). Le Calvados

Le bocage normand qui s'étend jusqu'au littoral était constitué à près de 100% par de l'orme, les autres essences représentées sont le chêne pédonculé, le hêtre. Le principal agent du dépérissement est la graphiose.(DRAE)

f). La Manche

Dans la Manche se sont surtout des peuplements de pins maritimes qui dépérissent (sur le littoral ouest Cotentin, à Biville et Pirou). Les causes invoquées sont d'ordre climatique : embruns salés (suite à la forte tempête de février 90), la sécheresse de 89, et d'ordre édaphique : sols filtrants, dune

calcaire, carence nutritionnelle. La tempête de 90 serait également à l'origine d'un coup de faiblesse du pin sylvestre entre les communes de Port-Bail et Lessay.(DDAF, DDE)

g). L'Ille et Vilaine

Un dépérissement des ormes (dû à la graphiose) est signalé sur les bords de la Rance. Il concerne surtout les ormes d'une certaine taille. Un recepage des sujets qui ne sont pas morts, permet d'obtenir de nouvelles pousses. Les conifères dépérissent, suite aux dernières tempêtes et à la sécheresse (les Tertres à Saint-Briac, Cancaval à Pleurtuit, La Briantais à Saint-Malo). Les hêtres présentent un jaunissement et une chute précoce des feuilles dès le mois d'août, suite à la sécheresse.(DRAE)

h). Les Côtes d'Armor

Des dépérissements graves sur de nombreuses essences, résineuses pour l'essentiel sont constatées sur le littoral des Côtes d'Armor.

Le dépérissement touche des sujets isolés en jardins particuliers, des individus en haies monospécifiques et également des sujets en forêt, touchés ou non par l'ouragan d'octobre 1987.

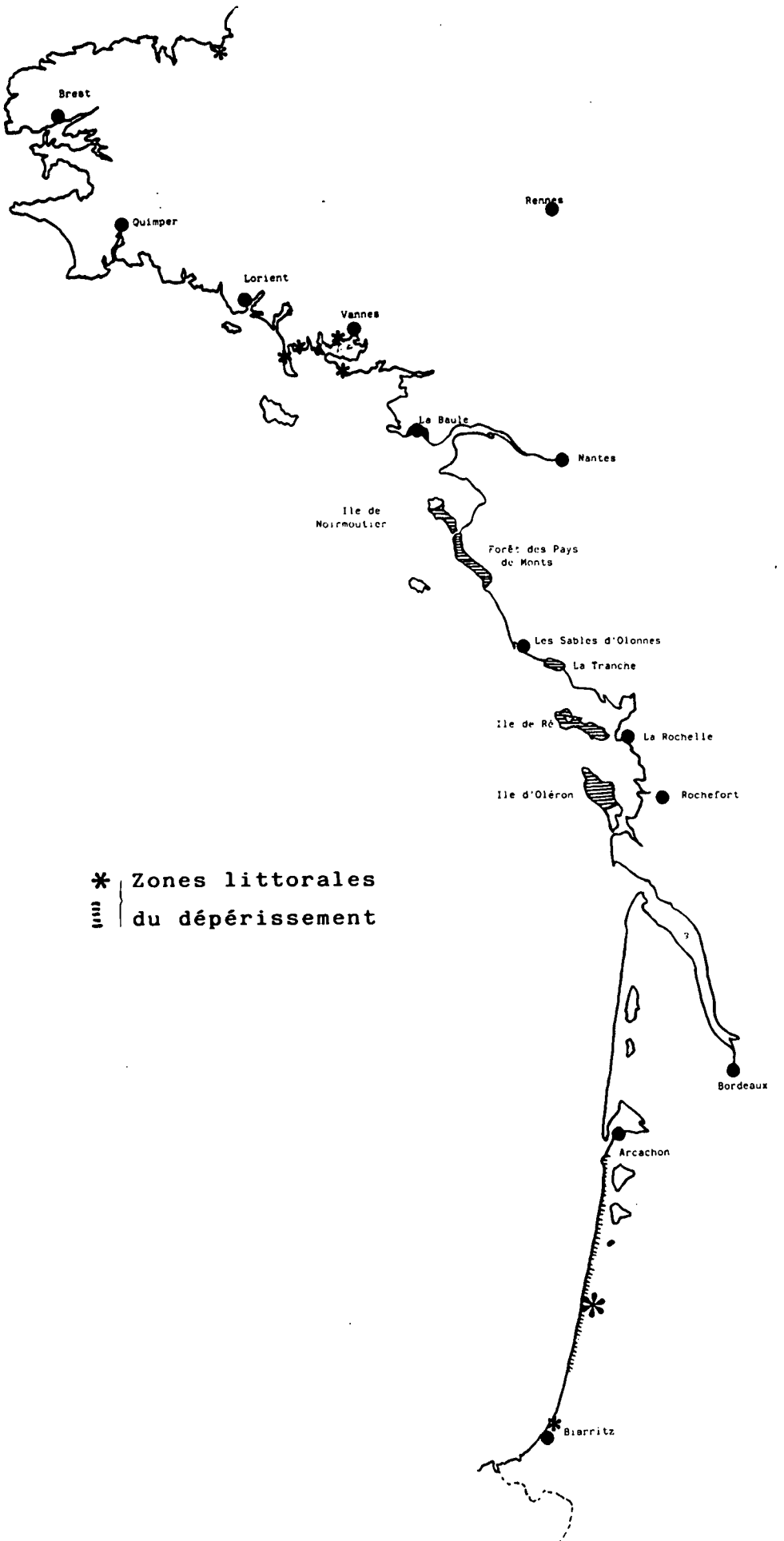
Les arbres touchés sont par ordre d'importance :

- le tsuga : il s'agit d'arbres âgés de 20 à 30 ans. Ces arbres meurent sur pied par plage entière ou isolément. Cela concerne les bois de Beauchamp, de la Salle, la forêt de Lorge près de Plestin les Grèves.

- les sapins (pectinés et géants) : le dépérissement est important sur sol filtrant, et ce quelque soit l'âge des arbres (5 à 30 ans). Les sapins exigent une humidité atmosphérique élevée, et ils craignent la sécheresse estivale. C'est pourquoi suite à l'été 89, il y a eu un affaiblissement, lequel prédispose aux attaques d'insectes.

- les pins sylvestres et maritimes : ont été très affectés par l'ouragan de 1987 : des parcelles entières ont

DEPERISSEMENT DE LA VEGETATION SUR LA FACADE ATLANTIQUE



désséchées, suite à l'ouverture des peuplements par la tempête. C'est le cas sur le massif de Lorge et à Erquy. Les plantations de 5 à 10 ans de pins laricio présentent des signes de dépérissement par plage dans certaines propriétés.
Le dépérissement des épicéas de Sitka est consécutif à des attaques de pucerons verts au printemps 1989, et de la sécheresse prolongée de la même année, et ce en dehors des peuplements denses.
Les quelques rares épicéas communs existants sur les côtes d'Armor sont tous dépérissants.
Les feuillus sont bien résistants, excepté les hêtraies ouvertes à la tempête , ou attaquées vigoureusement par les insectes.

2.2). La façade atlantique :

a). Le Finistère

Les seuls éléments de réponses dont nous disposons sont les effets désastreux de la tempête d'octobre 1987, et du manque d'entretien des peuplements après celle-ci. Ces forêts sont morcelées et privées à 91%. Elles sont souvent des dépendances d'anciennes propriétés nobiliaires, aujourd'hui à l'abandon.

b). Le Morbihan

Les essences les plus rencontrées sont des résineux : par ordre décroissant d'importance : le Pin maritime, le pin insignis (P. radiata), des pins noirs (de Corse, et de Calabre), des feuillus comme le chêne pédonculé, et l'orme.

Les origines du dépérissement sont d'ordre climatique (embruns, tempêtes de 87 et 90, gel de 85, sécheresse de 89), et d'ordre biotique :

- la processionnaire sur les pins,
- la graphiose de l'orme, qui contrairement à ce que l'on croit est toujours présent, sous forme de drageons.

Les attaques de processionnaires et de graphiose sont les facteurs les plus importants du dépérissement sur la façade maritime du Morbihan.



Dépérissement du pin maritime, cime des arbres jaune.. (Nord de l'île d'Oléron)

Dépérissement du pin maritime, forêt d'Escoublac.(arbres centenaires)

- quelques cas de cul brun sur les chênes, les rosacées, (Pénestin, Sene, Gavres)

- et quelques cas de corynéum sur les cyprès (Arzon).

Les pins des dunes de Penthièvre à Plouharnel présente des signes de chlorose (jaunissement du feuillage) comparables à ce qui est observé en Vendée.(DDAF)

c).Loire Atlantique, Vendée, Charentes Maritimes

Le dépérissement du pin maritime sur le littoral atlantique concerne près de 7000 ha. Les massifs les plus atteints s'étendent de la presqu'île de Quiberon jusqu'à la moitié nord de l'île d'Oléron, à l'exception de certains massifs comme la forêt d'Olonne. Ces forêts ont été constituées au début du Second Empire, sur les dunes, afin de protéger l'arrière pays de tout risque d'ensablement. A la Baule et à St Brévin le dépérissement concerne surtout des pins très âgés (100 ans), qui sont situés sur des propriétés privées, ou en forêt (forêt d'Escoublac). L'état de vétusté des individus est dans ce cas la principale cause du dépérissement. A St Brévin, des plantations de Pin laricio de Corse et de Pin de Thunberg sont réalisées en remplacement du Pin maritime.

Les premiers signes de dépérissements ont été signalés dès 1929. Depuis 1983-84 le phénomène s'est accéléré. Les arbres les plus atteints sont ceux localisés en bordure des peuplements face à la mer, ou en bordure de route, ou en lisière. Le dépérissement se traduit par un jaunissement des aiguilles, puis par un dessèchement complet de la cime et la mort de l'arbre en 3 mois à 2 ans plus tard (ONF, 1989a).

Un programme de recherche sur les causes du dépérissement du Pin maritime a débuté au printemps 1988. Il concerne les forêts des Pays de Monts (2300 ha) et de Noirmoutier (400 ha) à l'exception du bois de la Chaize. Ces forêts sont touchées à plus de 20% de leur surface.

Ces recherches ont pour but d'établir un sorte d'état des lieux, en déterminant l'étendue du dépérissement, son intensité

et sa vitesse de progression, et d'identifier les causes (biotiques et abiotiques) du dépérissement. Ce programme est coordonné par le Département des Recherches Techniques de l'ONF (inter région ouest), avec la participation du Conseil Régional des Pays de Loire. Il est effectué en collaboration avec des laboratoires de l'INRA (Télédétection, Entomologie à Cestas), et de l'ENITA (Pathologie).

L'évolution dans l'espace et dans le temps du dépérissement du Pin maritime en Vendée a été menée à l'aide de deux missions de photographies aériennes en septembre 1988 et août 1989 (INRA 1989a, b), d'un réseau de placettes permanentes de surveillance au sol (ONF, 1988) et de l'installation d'un réseau de couples de placettes (sains/dépérissants). Les premiers résultats montrent au niveau du nombre d'arbres que 50% d'entre eux présentent un bon état sanitaire, 20% présentent un début de dépérissement, 25% sont à un stade de dépérissement apparemment irréversible, et 5% sont morts. Entre les printemps 1989 et 1990, le phénomène s'est aggravé, les deux derniers stades ont été multipliés par deux. Par rapport à la surface occupée par le Pin maritime : 5% de celle-ci est occupée par 100% d'arbres en bon état sanitaire, 50% est occupée par des arbres en début de jaunissement, 25% de la surface est occupée par plus de 50% d'arbres à un stade irréversible, et 10% par des arbres morts. Ce phénoméne est concentré dans les clairières et en bordure de peuplement. (MAGNIN, 1990).

Le rôle des facteurs abiotiques (climat, sol, origine génétique) dans le dépérissement est déterminé par des analyses de sol, de feuilles (pour les conditions de nutrition des arbres) et par des analyses de terpènes pour la détermination de l'origine génétique des pins. Ainsi il apparaît que le dépérissement est plus important sur les arbres de provenance ibérique (Castille, Portugal) que sur les arbres d'origine aquitaine. Les analyses foliaires montrent que les arbres malades contiennent plus de sodium que les arbres sains. Les analyses de sol montrent quant à eux une teneur en calcaire total élevée et en calcaire actif faible, ainsi que des teneurs en phosphore assimilable, et en potassium échangeable faible à

très faible. Par contre le magnésium et le sodium sont en quantité importante, de même que le fer assimilable. Le pH de ces sols est de l'ordre de 9, il est plus lié à la teneur en sodium qu'à la teneur en calcium. (MAGNIN, 1990 ; BONNEAU 1969 ; LANDMAN 1988)

La recherche des facteurs biotiques (insectes, champignons pathogènes), a révélé que ceux-ci ne sont pas la cause essentielle du dépérissement, car ils s'installent sur des arbres déjà affaiblis ou en déséquilibre. Ils interviennent seulement dans la phase finale du dépérissement, à savoir la mort de l'arbre (ENITA et INRA, 1989).

Un étude dendrochronologique (la dendrochronologie est une science qui permet de retracer l'histoire de l'arbre. En effet, l'environnement (climat, insectes, champignons) influe sur la croissance de l'arbre. Cela se traduit par des cernes plus ou moins grands. Donc la succession des accroissements en circonférence reflète la réponse des arbres aux conditions extérieures) réalisée sur des arbres actuellement dépérissants et des arbres actuellement sains montre que les arbres jaunissants d'origine ibérique ont une croissance radiale plus faible que les arbres sains d'origine ibérique ou aquitaine. Globalement la génération actuelle de pins maritimes a une meilleure croissance que ceux de la génération précédente. Les pins laricio de Corse qui ne sont pas affectés par le jaunissement, ont leur croissance radiale affectée de la même façon que celle du pin maritime atteint, et ce depuis 1983 (LAUMAILLE, 1990 ; MAGNIN, 1990).

Suite à ces observations, des moyens de lutte à court terme et à long terme ont été mis en place.

Dans le cadre de la lutte à court terme du dépérissement, des essais de fertilisation en azote et en potasse ont été réalisés sur différentes classes de dépérissement en forêt domaniale de Noirmoutier. Il en résulte que la fertilisation n'a pas ralenti le phénomène du dépérissement. Une fertilisation des peuplements âgés de 20 à 40 ans permet de les faire tenir

jusqu'à ce qu'ils puissent être exploités (ONF, 1989c). Une autre façon de lutter à court terme contre le dépérissement est de retirer les arbres morts ou malades en continu, et ainsi éviter la propagation de la vermine, et peut-être aussi enrayer le dépérissement (ONF, 1989b).

Des essais d'introduction d'espèces feuillues et résineuses dans les sables calcaires dunaires de la côte vendéenne ont été réalisés en 1984 par l'ONF. Ces essais sont menés dans le but de remplacer à long terme le Pin maritime.

Après 5 saisons de végétation, il ressort que les espèces forestières susceptibles de le remplacer sont :

- des pins maritimes d'origine marocaine (Tamjoute)
- le pin pignon (Pinus pinea), quoi qu'un début de jaunissement a été observé sur l'île de Ré.
- le chêne vert (Quercus ilex)
- des cyprès (C. macrocarpa, C. sempervirens, C. arizonica)
- l'érable plane (Acer platanus)
- l'aulne à feuille en coeur (Alnus cordata)
- le tilleul à feuille en coeur (Tilia cordata)
- le peuplier blanc (P. alba)
- le robinier(Robinia pseudoacacia)

d). La Gironde

Aucune réponse n'a été obtenue pour ce département.

e). Les Landes

La forêt des Landes est une futaie régulière pratiquement pure de pins maritimes, avec sur quelques uns des versants Est et dans certaines zones de la moitié Est, du chêne pédonculé en mélange et en sous-étage du pin maritime.

Le dépérissement affecte principalement le pin maritime. Les peuplements les plus à l'ouest sont soumis fortement à l'influence de l'océan et de la dune blanche littorale (embruns, projection de sable lors des tempêtes), et ils présentent des mortalités tout le long de la côte. Les mortalités peuvent être importantes et elles sont surtout localisées où il n'y a plus de protection par la dune blanche (qui est dégradée et remise en mouvement).

Le phénomène se manifeste tout d'abord par un dépérissement des faces exposées côté ouest (embruns, sable), puis par la mort progressive de l'arbre. Il y a également des attaques d'armillaire, et une progression des mortalités plus ou moins rapidement vers l'Est. Généralement les arbres morts sont laissés sur place, ils servent de protection pour la régénération, et leur installation qui se fait surtout à l'ouest des mortalités.

Les attaques d'armillaire sont source de mortalité à partir de 2,5 km de l'océan. Les forêts les plus touchées sont dans la moitié Est. Les mortalités sont en forme de taches localisées, diffuses sur l'ensemble des parcelles. Ce phénomène se généralise de plus en plus, et il est difficile à maîtriser, il constitue un grave danger pour l'avenir des peuplements.

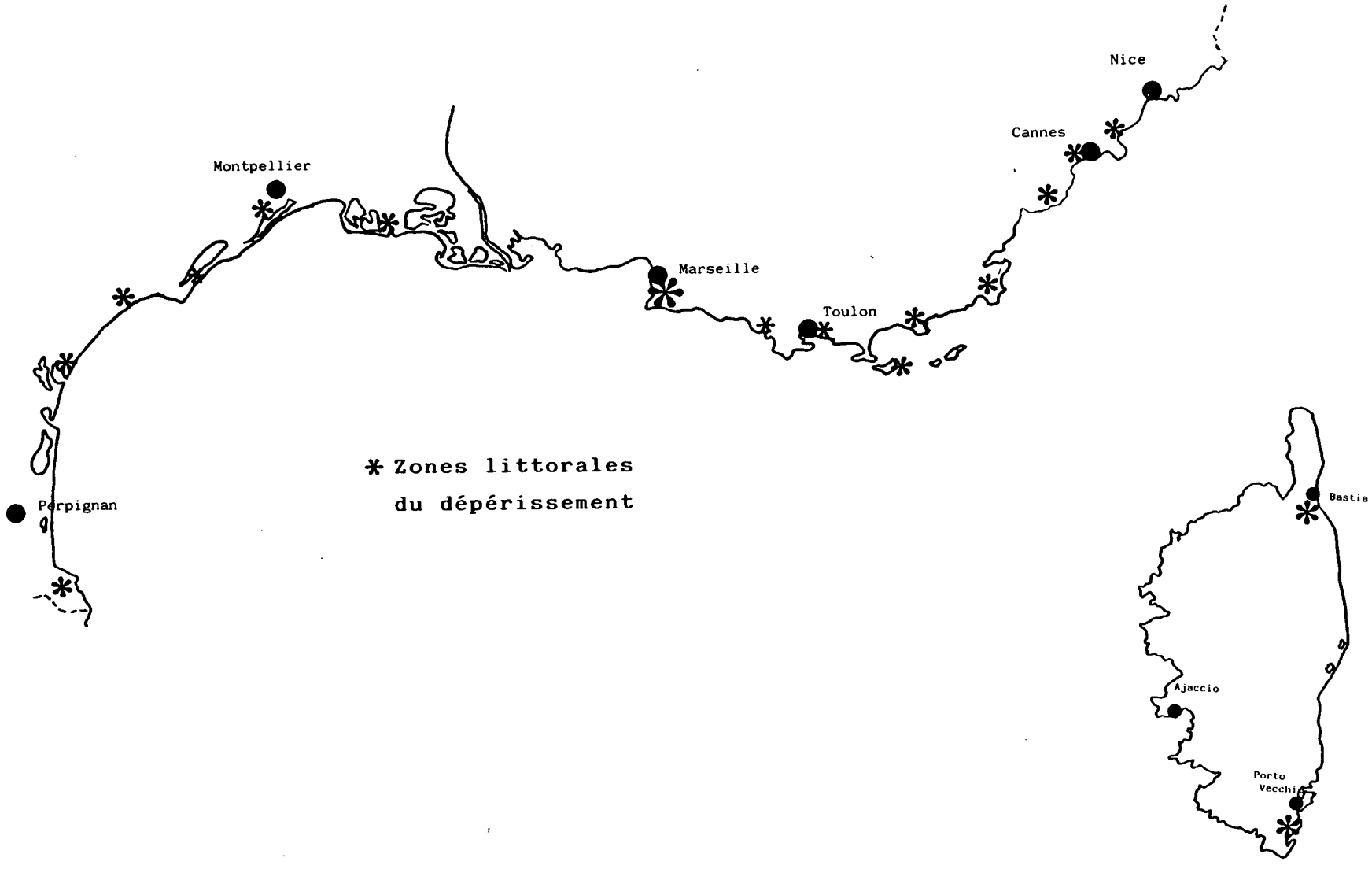
Les jeunes semis (âgés de 0 à 3-4 ans) de pins maritimes présentent d'importantes mortalités. La cause est ignorée, mais les sécheresses de 89 et 90 ont accentué le processus.

Les chênes pédonculés présentent quant à eux un virement de la couleur du feuillage au roux, et dans certains cas une perte de feuilles rapide vers la fin du mois de juillet, suite à la sécheresse.(ONF, DDE)

f). Les Pyrénées Atlantiques

La façade maritime des Pyrénées Atlantique est composée de zones très peu boisées. La seule forêt touchée par le dépérissement est une pineraie située sur la commune d'Anglet. Il s'agit du massif forestier du Pignada (220 ha), situé à moins de 2 km du littoral. Le dépérissement se manifeste par un jaunissement et des pertes d'aiguilles, des cimes sèches, des

DEPERISSEMENT DE LA VEGETATION SUR LES COTES MEDITERRANEENNES



bris fréquents, une perte de croissance. Ces phénomènes concernent environ 20% des arbres. Les causes avancées de ce dépérissement sont : les embruns marins, la maladie du rond, quelques attaques de scolytes, la processionnaire, l'effet lisière, l'isolement, et la sécheresse qui accentue le problème (ONF). Les arbres les plus touchés sont en lisières côté ouest exposés aux forts vents marins. Ces arbres jouent en fait le rôle de brise-vent pour le reste du peuplement. Ils vivent donc dans des conditions difficiles, responsables de leur affaiblissement et de leur vulnérabilité aux maladies et à la processionnaire.

A l'intérieur de ce massif on trouve également du chêne rouge et du chêne pédonculé, sur lesquels des descentes de cimes, un roussissement prématuré des feuilles, et une chute précoce des fruits sont observés.(DDAF)

2.3). La côte méditerranéenne :

a). Les Pyrénées Orientales

Dans le massif des Albères, les chênes lièges présente un dépérissement ponctuel en juillet 1989 : il se manifeste par une forte défoliation liée à la sécheresse hivernale et printanière. Une reprise sensible s'est manifestée à la fin de l'été 1989. Le phénomène ne semble pas se reproduire en été 1990. Par ailleurs Hypoxylon mediterraneum peut causer des dépérissements localisés.(DSF)

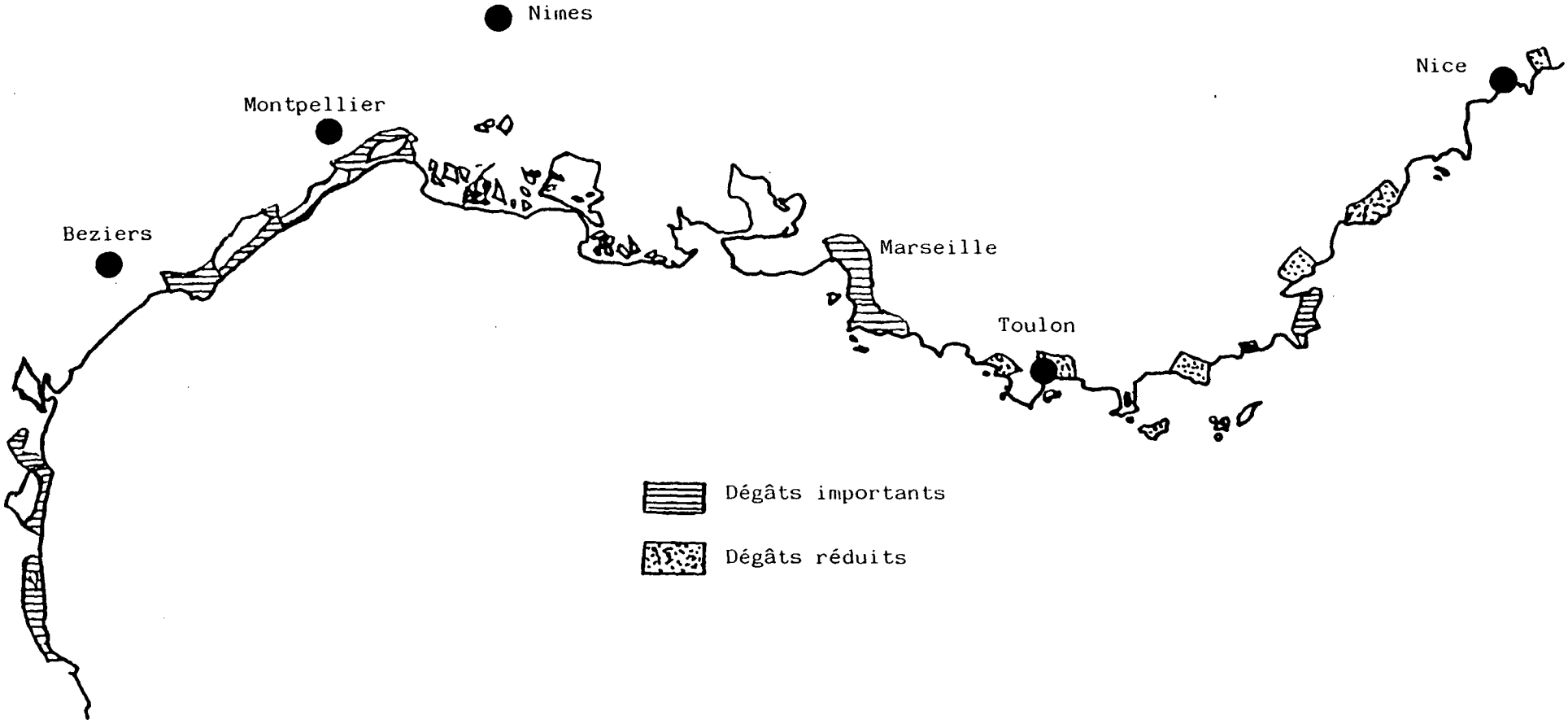
b). L'Aude

Il n'y a pas de phénomènes graves de dépérissement, si ce ne sont que quelques attaques disséminées de parasites sur les ormes, les platanes, la lavande et le romarin.

c). L'Herault

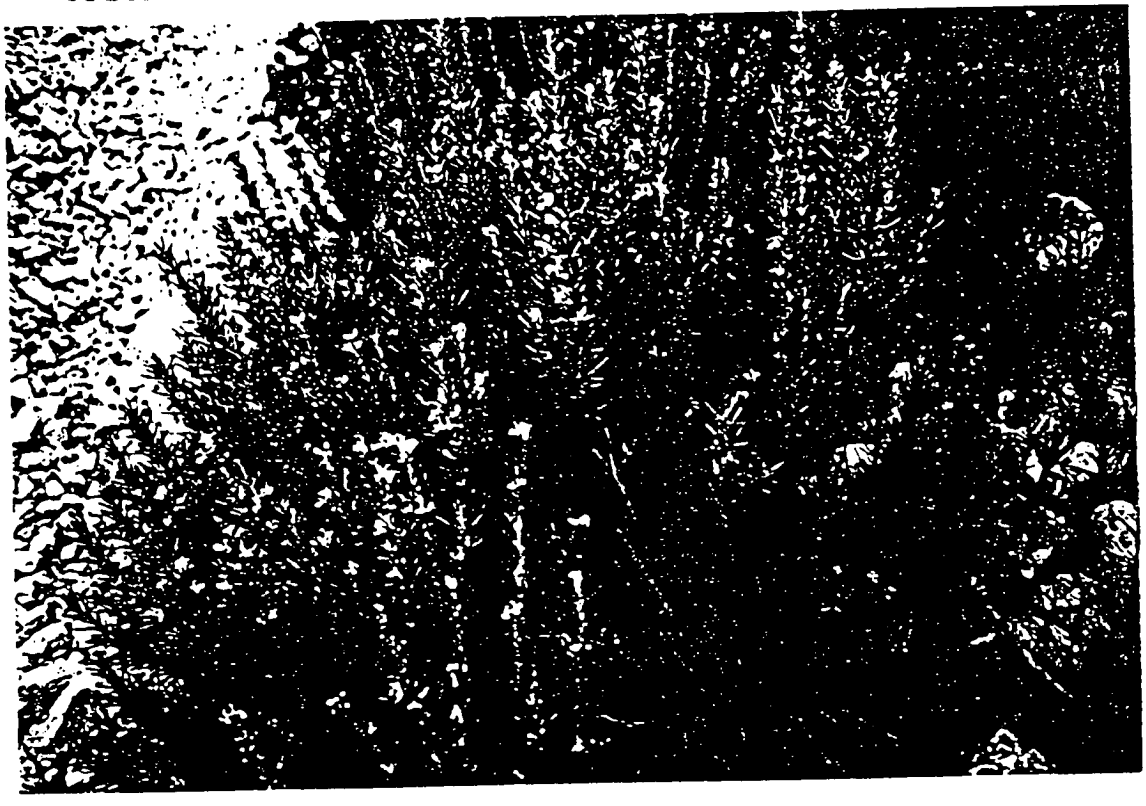
Il n'y a pas de dépérissement anormal dans l'Herault. En zone littorale, les problèmes ont pour origines principales les embruns marins ainsi qu'un mauvais assainissement des terrains

Cartographie des zones littorales méditerranéennes affectées par le phénomène de dépérissement par les embruns marins pollués.
(d'après SIGOILLOT)





Dépérissement sur pin. Absence d'aiguilles en orientation face à la mer.(Calelongue)



Dépérissement sur romarin, apex des feuilles jaune. (Sud est de Marseille)

de camping. En zone urbaine, suite à la sécheresse, les arbres présentent un jaunissement et une perte des feuilles, avec quelques cas de mortalités. Des dépérissements liés à l'épandage de sels de déneigement sont aussi relevés.(DDAF)

Les problèmes sanitaires concernent le pin maritime (processionnaire, pyrale du tronc), et le chêne (bupreste, Lymantria).

d). Le Gard

A Aigues Mortes, St Gilles, Ste Marie de la Mer, le pin pignon a présenté en 83 des cas de mortalité, en 84-85 une accentuation du phénomène. Les causes principales invoquées sont :

- la tempête de novembre 1982, durant laquelle il y a eu envahissement par l'eau de mer des zones basses pendant plusieurs jours.
- le gel de l'hiver 84-85, où la température est descendue à -12/-15°C.
- et des attaques de Tomicus destruens (écotype de l'hylésine), qui était à son apogée en 1985, et qui depuis est en régression.(DSF)

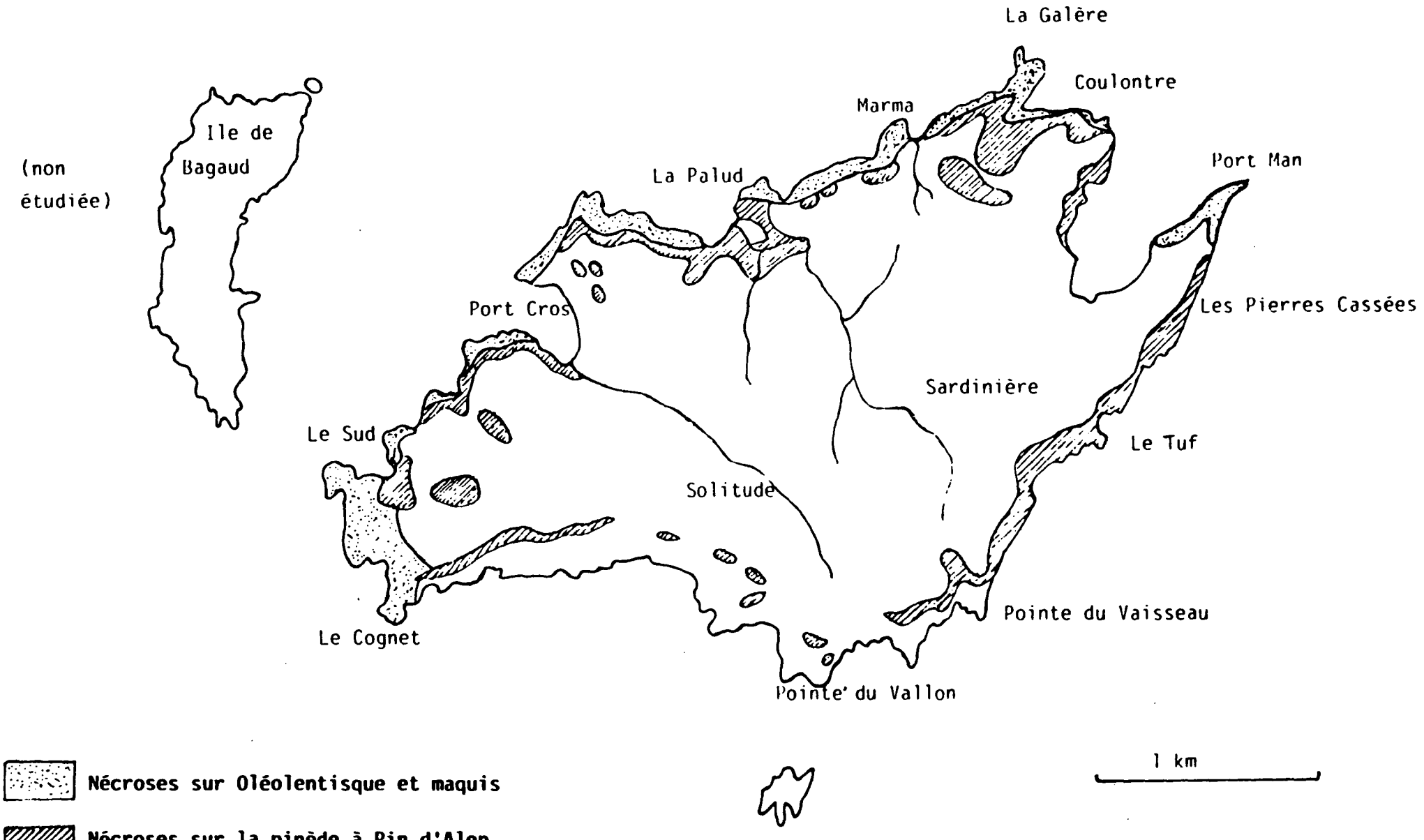
e). Les Bouches du Rhône

A St Martin de Crau, les chênes lièges subissent un stress hydrique, du à la sécheresse du sol très pauvre et à faible réserve en eau fortement déficitaire.(DSF) En Camargues, certains peuplements sont affaiblis, suite au raz-de-marée de novembre 1982. Les pins pignons sont depuis 1984 attaqués par l'hylésine.(DDAF)

Des dépérissements attribués aux embruns pollués sont signalés dans la région sud sud-ouest des Bouches du Rhône.

f). Le Var

Les arbres de la forêt du Faron (400 ha) subissent des attaques d'hylésine. La population de pin vieillissante risque



Etat des zones nécrosées sur l'île de Port Cros (BOURRELLY-CHEREL, 1985)

de disparaître suite à la sécheresse. La végétation montre par ailleurs des brûlures au niveau du feuillage, dues aux coups de vent d'Est. Les nécroses sont passagères, elles disparaissent avec la reprise de la végétation.(ville de Toulon)

Dans une parcelle (canton du Dramont) de la forêt domaniale de l'Esterel, et sur une quinzaine d'hectares, les pins d'Alep ont leurs aiguilles qui rougissent, séchent, et tombent , entrainant leur mort.(ONF)

Dans le massif des Maures, le chêne liège est dépérissant depuis 2 à 3 ans. Les origines sont multiples et leurs effets s'additionnent :

- les incendies répétés
- le déficit hydrique des années 87-88-89-90
- le démasclage brutal qui affecte le liber
- des parasites : H. mediterrraneum, Lymantria dispar, Cerambyx unedo.(DSF)

Dans les îles d'Hyères (Port-Cros, Porquerolles), un dépérissement de la végétation attribué aux embruns pollués est signalée.

g). Les Alpes Maritimes

Les jeunes sujets de pins d'Alep ont du mal à être implanter en remplacement des arbres morts. Les dégâts les plus importants sont consécutifs aux coups de vent d'Est.(Cap d'Antibes)

A Cannes, Juan les Pins, Golfe Juan, Antibes, le pin d'Alep souffre de l'urbanisation et du chancre à Crumenulopsis.

Des chablis sont signalés dans la pineraie des îles Ste Marguerite et St Honorat, les causes du dépérissement sont d'ordre climatique (gel, sécheresse, embruns, incendie), et d'ordre biotique (parasites de faiblesse).

Les nombreux incendies permettent le développement d'insectes xylophages (pyrale, bupreste) sur les arbres morts carbonisés, d'insectes sous-corticaux (hylésine, chalcographe) sur les arbres affaiblis, et de champignons (H. mediterraneum, divers lignivores) sur des arbres dépérissants et moribonds.(DDAF)

h). La Corse

Au Sud à Porto Vecchio, le chêne liège dépérit depuis 2 ans pour les mêmes raisons que celles rencontrées dans le massif des Maures.(DSF)

Généralement, un dépérissement est constaté en Corse, qu'à la suite d'années très sèches, et sur des arbres isolés situés sur des sols squelettiques. En bordure du littoral, il y a peu de dépérissement, l'effet de rosée et l'humidité atmosphérique, compenseraient l'effet sécheresse.(ONF)

Suite aux tempêtes hivernales, la plupart des arbres se remettent de leurs effets, sauf les espèces plantées comme le Cyprès de Lambert, les lauriers roses, les acacias, ...(AGENC)

3).Conclusion de l'enquête :

Il est important de souligner ici que le dépérissement des arbres en bordure du littoral n'est pas dû à un facteur unique, mais à la conjonction d'un ensemble de phénomènes défavorables pour la croissance de l'arbre, tels que la sécheresse, les tempêtes, les problèmes de nutrition, les pollutions, les ravageurs, qui conduisent à un affaiblissement général de l'arbre et à sa mort.

Il ressort de cette enquête que ce sont les résineux les plus atteints. Une partie de l'explication tient à la persistance du feuillage. En effet si l'endommagement de celui-ci est ponctuel, les effets qui en résultent sur la physiologie de l'arbre sont de longue durée. Contrairement aux caducifoliés, dont le feuillage est renouvelé entièrement chaque année.

Parmi les résineux, l'essence la plus touchée est le Pin maritime. On peut estimer que le pin maritime est largement au Nord de son aire naturelle (GUYON, 1980, cité par MAGNIN, 1990), pour ce qui est de ses implantations sur les côtes de la Manche. Par ailleurs on reproche souvent leur installation sur des sols calcaires alors que le pin maritime est une essence calcifuge. En fait le pin maritime peut s'accomoder de la présence de calcium échangeable qui provient de la décarbonation d'une roche mère calcaire (DUCHAUFOUR cité par MAGNIN, 1990). La tolérance

est accrue lorsq'il y a une richesse de la matière organique et une bonne alimentation en eau, ce qui n'était pas le cas ces dernières années.

Le Pin maritime est une essence calcifuge, il se trouve donc en Vendée dans un état d'équilibre précaire avec son milieu. L'équilibre s'est donc détérioré et avec lui s'est accéléré le processus du dépérissement.

Par ailleurs, NGUYEN et LAMANT en 1989a, ont montré que les différentes provenance de pins maritimes, avaient des capacités d'adaptation différentes au stress hydrique. Ainsi les provenances marocaines ont une plus grande vitesse d'élongation racinaire, et une plus grande capacité pour leur ajustement osmotique que les provenances françaises.

Dans le cas de la Vendée, il est probable que le dépérissement soit lié en partie à la provenance des pins maritimes.

Une des solutions au dépérissement du pin maritime, serait à long terme de le remplacer par d'autres provenances (marocaine), ou par d'autres essences, en favorisant les feuillus. Ce qui pourrait peut-être enrayé le dépérissement.

Par ailleurs, on a vu dans certains cas que le dépérissement était lié à la vétusté des sujets. En effet, il ne faut pas oublier que les arbres comme tout être vivant, finissent par mourir. Avant qu'ils n'atteignent cette échéance fatale, il est bon de les remplacer. Le vieillissement des arbres peut être accéléré par les conditions de son environnement comme par exemple la sécheresse. C'est pourquoi il ne faut pas prendre en considération absolue l'espérance de vie d'un arbre, mais plutôt son état sanitaire, et le remplacer le moment venu.

TROISIEME PARTIE

LES AMENAGEMENTS

EN BORDURE DU LITTORAL

A-RAPPEL DE LA LEGISLATION EN BORDURE DU LITTORAL OU LOI LITTORALE

La loi littorale 86.2 du 03 janvier 1986 a pour objectif :

- la protection des équilibres biologiques et écologiques,
- la préservation et le développement des activités économiques liées à la proximité de l'eau,
- le maintien ou le développement, dans la zone littorale du tourisme.

Ce sont des dispositions visant à organiser les activités sur l'espace littoral afin de préserver les sites remarquables et d'améliorer les conditions d'accès à la mer et au rivage. Elle prevoit que l'urbanisation doit être effectuée en profondeur en respectant une bande de 100 m. de large, le long du rivage et que les routes de transit ne peuvent être tracées à moins de 2000 m. du rivage.

Lors de la plantation d'espèces non spontanées dans une région il est important de tenir compte de leur capacité d'adaptation au climat de celle-ci (voir la carte bioclimatique littorale en annexe). Il est important en matière de climat de tenir compte des conditions extrêmes de températures ou de pluviométrie. On peut citer comme exemple malheureux, l'introduction sur la côte atlantique d'eucalyptus qui ont tous disparu, suite au gel de l'hiver 1984-1985.

Outre les conditions climatiques, il faut également respecter les exigences stationnelles.

B-LES BRISE-VENT :

Ils peuvent être constitués soit par des arbres (haies brise-vent), soit par d'autres matériaux comme des palissades en lattes de châtaignier liées par des fils de fer (ganivelles), ou des claies de branchages et de pieux, soit encore, des treillis

métalliques, ou des filets de nylon aux mailles serrées, tendus sur des piquets en bois. Ces matériaux servent dans les restaurations rapides et légères des dunes. Leur but est de diminuer la vitesse du vent, et de provoquer le dépôt du sable à leur pied. Ces obstacles ont une perméabilité de l'ordre de 40 à 50 % pour éviter les phénomènes de creusement à leur pied, ce qui entrainerait leur basculement.

Ici notre propos est de traiter des végétaux brise-vent.

1). Utilisation des haies brise-vent en bord de mer :

Les haies brise-vent sont utilisées en bord de mer, pour protéger les plantations de végétaux sensibles au vent et aux embruns salés. Elles ont également un rôle de protection pour les habitations en arrière des dunes.

2). Caractéristiques des végétaux constitutifs des haies brise-vent en bord de mer :

Les végétaux constitutifs de ces haies devront par conséquent être résistants à la fois aux vents violents et aux embruns salés. En plus de ces conditions climatiques peu favorables, les sols sont très souvent pauvres et secs. La résistance à ces conditions s'exprimera par des feuilles à cuticule épaisse qui empêche la pénétration du sel et la lacération par le vent, et par des racines capables d'exclure sélectivement le sel.

Ces arbres de part leur position en bordure de peuplement ou tout autre poste avancé, et soumis à des conditions de vie difficiles, seront rapidement affaiblis, ce qui les rend d'autant plus vulnérables aux maladies, et aux insectes. Donc en plus des critères de résistances aux conditions abiotiques du milieu, il faut trouver des espèces résistantes aux maladies.

Les végétaux résistants à ces conditions sont peu nombreux, il y a très peu de feuillus, mais beaucoup de conifères (pins, cyprès) et des arbustes à feuilles persistantes (Eleagnus, Olearias, Escallonia) (voir annexe 2). De plus en France, il n'y a pratiquement pas d'espèces spontanées convenant. Aussi la

plupart de celles utilisées proviennent d'Amérique du Nord ou de l'hémisphère sud.

3). L'efficacité des haies brise-vent

L'efficacité des haies brise-vent dépend de leur perméabilité, de leur hauteur et de leur homogénéité.

3.1). La perméabilité :

La perméabilité doit être de 50 %, pour permettre en écoulement régulier du vent. Celle-ci est optimale en été pour les feuillus, puis elle diminue en hiver avec la chute des feuilles. Par contre les thuyas et les cyprès sont trop imperméables ; de telles haies créent des tourbillons et des effets courant d'air (GUINAUDEAU, 1987). Leur efficacité de brise-vent est mauvaise au delà d'une distance égale à deux fois la hauteur de la haie. Ils sont intéressants pour une protection rapprochée.(IDF, 1981)

3.2). La hauteur :

Si la perméabilité est suffisante, une bonne protection sera assurée sur une largeur de parcelle correspondant à 15 à 20 fois la hauteur du brise-vent, soit encore 10 à 15 fois la hauteur en aval du vent et de 2 à 3 fois en amont (GUINAUDEAU, 1987).

3.3). L'homogénéité :

Le brise-vent doit être bien homogène, bien garni de la base au sommet, pour assurer son rôle de protection. Pour ce faire on pourra utiliser plusieurs espèces, qui ont des hauteurs de développement différentes. Des arbres dégarnis à la base ne feraient qu'accélérer la vitesse du vent (GUINAUDEAU, 1987).(IDF, 1981)

4). Les éléments constitutif d'une haie brise-vent (IDF, 1981):

4.1). Les arbres de haut jet :

A l'age adulte ces arbres atteignent 20 à 30 m de haut dont 8 à 10 m de tronc sans branche et 12 à 20 m de houppier.(exemple des pins)

4.2). Les arbres en cépée :

Ces arbres sont rabattus près du sol dès la deuxième année. Il y a formation d'une touffe avec plusieurs brins. Ces arbres peuvent atteindre 8 à 10 m. Les arbres utilisés ainsi sont par exemple les peupliers.

4.3). Les arbustes buissonnants :

Ils assurent la fonction de brise vent quand les arbres de cépée sont adultes. Ces arbustes ont une hauteur de 5 à 6 (grands arbustes) ou 2 à 3 m (petits arbustes).

5). Les brise vent de bord de mer :

Dans les zones très exposées du bord de mer on utilise des haies de conifères à grand développement. Ils sont préférés aux feuillus dans les situations difficiles. C'est le cas de certains cyprès (Cupressus macrocarpa, Cupressocyparis leylandi) et de certains pins (Pinus nigra var Calabrica, Pinus thunbergii). La distance de plantation entre les arbres est de 2 à 3 mètres.

Les arbustes employés en haies brise-vent sont à feuillage persistant ou semi-persistant, comme l'alaterne, l'arbousier, l'olivier de Bohême, le fusain, l'olearia, le pittosporum. Le pourpier de mer (Atriplex halimus) est souvent utilisé en haies de protection contre l'ensablement (notamment en Roussillon) (ALLAG-DHUISME, 1986). La distance de plantation à respecter est de 0,6 à 0,8 mètres. (IDF, 1981)

Ces arbustes peuvent également servir de haies en bordure de chemin d'accès à la plage, ou encore à la protection de parking ou de camping. Ils ont un rôle non négligeable dans l'acceuil du public. (ALLAG-DHUISME, 1986)

C-LA STABILISATION DES DUNES :

La végétation participe à l'édification des dunes, elle joue également un rôle de régulation qui permet jusqu'à un certain point une autoprotection de la dune contre les agressions extérieures (le vent, la houle, ...). De sa capacité à retenir le sable, dépend la hauteur et la largeur de la dune.

La végétation joue un rôle important dans la sédimentation des sables. Elle s'oppose à l'effet érosif du vent.

La stabilisation de la dune par la végétation est indispensable, si elle veut continuer à assurer son rôle de protection des installations situées en arrière.

Mais la stabilisation de la dune par la végétation est rendue difficile, par son caractère dynamique, auquel elle participe activement.

En effet, la dynamique dunaire résulte de l'action de facteurs physiques (la mer et le vent, voir en première partie) et de facteurs biologiques (la végétation et l'homme).

Avant d'engager tout travaux d'aménagement d'une dune, il est nécessaire de bien connaître sa nature réelle ainsi que son comportement dynamique. Il ne faut pas appliquer des techniques standardisées, il faut prendre en compte les conditions naturelles spécifiques d'un milieu côtier donné. Sinon on gâchera du temps et de l'argent (PASKOFF, 1989b).

Par ailleurs une connaissance des séries végétales qui colonisent naturellement la dune permet d'y puiser les espèces que l'on aura intérêt à utiliser pour réaliser des stabilisations efficaces avec de faible perte de matériel végétal.

1). La végétation naturelle de la dune :

1.1). Ses caractéristiques :

Cette végétation est particulière, car elle est adaptée aux conditions difficiles du milieu :

- les embruns salés,
- un vent fréquent et violent,
- la sécheresse et la mobilité du substrat,
- le mitraillement par le sable,
- l'absence de sol au sens pédologique du terme.

Ces plantes sont dites psammophiles. Elles présentent une adaptation morphologique et physiologique à ces conditions.

Leur appareil aérien est caractérisé par :

- une cuticule épaisse, silicifée, qui leur confère une résistance au mitraillage par le sable,
- un épiderme résistant aux embruns salés,
- une réduction de la surface foliaire, des stomates protégés, des feuilles capables de s'enrouler, feuilles grasses : ce sont des adaptations pour lutter contre la sécheresse.
- des feuilles en gouttières, pilosité, hygroscopie des téguments : elles peuvent ainsi utiliser la condensation de la rosée,
- une forte croissance verticale des tiges et des feuilles : résistance à l'asphyxie due aux accumulations successives du sable déposé par le vent,
- ce sont des plantes annuelles à cycle printanier court : synchronisation avec les saisons.

Quant à leur appareil souterrain, il possède les critères suivant :

- une opposition au déchaussement grâce à un pivot très profond ou à des rhizomes multiples,
- une résistance à la sécheresse grâce à un enracinement très profond ou à un chevelu superficiel permettant de capter l'eau de condensation,
- une résistance à l'eau salée par la régulation de la pression osmotique,

- une mise à profit de l'ensablement, par des racines adventives ou des rhizomes traçants verticaux et horizontaux,

- la colonisation des sables nus est rendue possible par l'existance de rhizomes traçants et horizontaux.(DUBREUIL, 1984 ; DUVAL, 1986)

Ainsi, les grains de sable sont enserrés dans le maillage de l'appareil racinaire.

Cette cohésion du substrat par les racines augmente sa résistance à l'effet érosif du vent.

Toutes ces caractéristiques morphologiques sont communes aux végétaux adaptés aux conditions du bord de mer, bien que ceux-ci appartiennent à des familles et des genres différents.

1.2). La zonation de la végétation dunaire :

La couverture végétale dunaire présente une zonation, allant d'un tapis herbacé clairsemé sur le bourrelet littoral à un complexe forestier sur les dunes les plus internes.

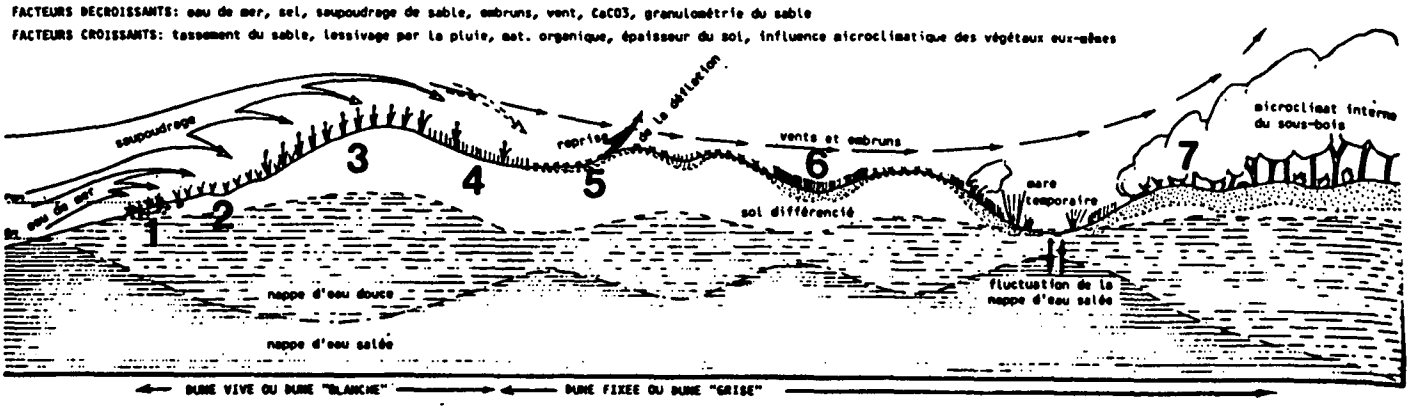
Du haut de la plage vers l'intérieur des terres on trouve (exemple des dunes du Nord de la France, DUVAL, 1986) :

a). la zone des laisses de mer :

C'est la première colonisée. Elle est occupée par un groupement facultatif d'herbacées annuelles disjointes : l'Atriplicetum arenariae. Ces plantes sont liées aux matières organiques des laisses de haute mer recouvertes de sable.

Cette association s'installe de façon sporadique au pied de la dune embryonnaire, en une formation très éparse et très ouverte de :

- Atriplex littoralis : l'arroche des sables
- Cakile maritima : le caquillier ou roquette de mer,
- Salsola kali : la soude,
- Honkenya peploides : le pourpier de mer



Zonation transversale type de la végétation des dunes bretonnes. (DUBREUIL, 1984)

Zone 1 à halonitrophile, limite des laisses de plus hautes mer. Plantes halonitrophiles (Cakile maritima, Atriplex halimus, Salsola kali).

Zone 2 à Agropyrum junceum, pied de dune. Euphorbia paralias, Calystegia soldanella, Eryngium maritimum, Honckenya peploides.

Zone 3 à oyats. Avec la zone 2 elle constitue la dune blanche ou la dune vive. Ammophila arenaria, Euphorbia, Calystegia, Eryngium, Festuca arenaria, Festuca dumetorum. Sur la côte sud plus chaude on trouve Galium arenarium, Matthiola sinuata, Diotis candidissima.

Zone 4 : les fétuques. Festuca arenaria, Festuca dumetorum, Festuca pruinosa, Koeleria albescens, Carex arenaria.

Zone 5 : les pelouses rases internes. Il y a plusieurs types de pelouses : - un type Nord-armoricain de l'Ille et Vilaine jusqu'à Santec : Koelaria albescens, sedum acre, Thymus drucei, Euphorbia portlandica.

- une variante thermophile de Santec à Crozon : avec Helichrysum staechas en plus du groupement précédents.
- un type Sud-armoricain caractérisé par Helichrysum staechas, Corynephorus canescens, Asparagus prostrastus, Ephedra distachia, Rosa pimpinellifolia.

Zone 6 : les pelouses hautes. Formations herbacées dominées par Festuca ovina et Brachypodium pinnatum.

Zone 7 : les fourrés. Dans les parties n'est pas décalcarisé on trouve des espèces calcicoles : le troëne (Ligustrum vulgare), et des lianes : Clematis vitalba, Rubia peregrina, Rubus ulmifolius et Iris foetidissima en sous-bois. Dans les zones moins calcaires on trouve l'ajonc, (Ulex europaeus) à la place des fougères. Dans les dunes de la côte Sud l'espèce dominante et le chêne vert.

- Beta maritima : la bette maritime, dont la présence traduit la finesse des sédiments mêlés aux tangues (dépôt calcaire marin lié à la désagrégation des coquilles).

Ces plantes annuelles vivent sur des sols salés riches en nitrate, on les appelle pour cela halonitrophiles.

b). la zone des dunes embryonnaires :

Elle voit généralement apparaître une végétation vivace d'Agropyrum junceum (le chiendent des sables) qui est largement dominant. Cette graminée se caractérise par un rhizome rampant, elle forme des peuplements assez denses et très homogènes. La multiplication rapide du chiendent correspond à un apport de sable important. Face au large le chiendent provoque la sédimentation du sable par son système racinaire qui lui permet de croître en même temps que la dune. La forte croissance verticale des tiges et des feuilles l'empêche d'être asphyxié par un ensablement brutal.

Les associations végétales à Atriplicetum arenariae et à Agropyrum junceum n'existent pas sur les littoraux érodés qui n'ont pas de bourrelet littoral en front de mer. Par ailleurs ces deux associations contribuent à l'engraissement du littoral, soit par des apports et des dépôts de matières organiques, soit par des apports et des dépôts de sables.

c). la zone du bourrelet littoral et des dunes blanches :

Elle offre un aspect de mosaïque composée de tache de sable et de tache de végétation. Cette végétation correspond aux touffes d'oyat. C'est la zone de l'oyat (Ammophila arenaria).

L'oyat est une plante vivace à rhizome très long. Il croît préférentiellement sous les apports réguliers de sable. Dès qu'il est recouvert partiellement par le sable, des ramifications verticales se développent à partir des bourgeons axillaires. L'appareil aérien croît au fur et à mesure des

accumulations sableuses ; le rhizome âgé est remplacé par des racines adventives plus proches de la surface du sable.

L'oyat ne supporte pas les ensablements brutaux, ils l'étouffent. C'est une plante extrêmement sensible au piétinement. Celui-ci peut provoquer un déchaussement des racines. Le déchaussement est un autre facteur de dépérissement qui peut être consécutif à l'action du vent.

Si la dune blanche n'est pas totalement recouverte, le sable laissé nu pourra être pris en charge par le vent. Ces espaces constituent de véritables plages d'envol.

Dans le cas de dunes vieillissantes, ou si les apports de sable ne sont pas assez importants l'oyat ne se multiplie plus, il végéte, d'autres plantes s'installent.

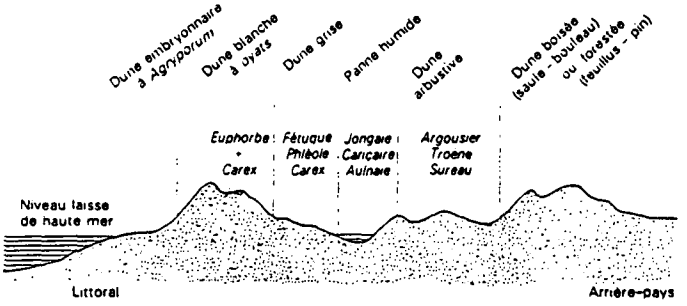
Dans les zones abritées, surtout sur le versant interne du bourrelet littoral, l'oyat est accompagné par le carex des sables (Carex arenaria) et l'euphorbe des sables (Euphorbia paralias).

L'association de ces trois plantes assure une stabilisation durable des particules de sable. En effet, chacune de ces plantes possède un appareil racinaire de morphologie différente. Ainsi, l'oyat a un système racinaire dense en touffe, le carex possède une tige stolonifère traçante horizontale qui peut atteindre plusieurs mètres, quant à l'euphorbe, sa racine est pivotante, et elle peut atteindre un mètre et plus.

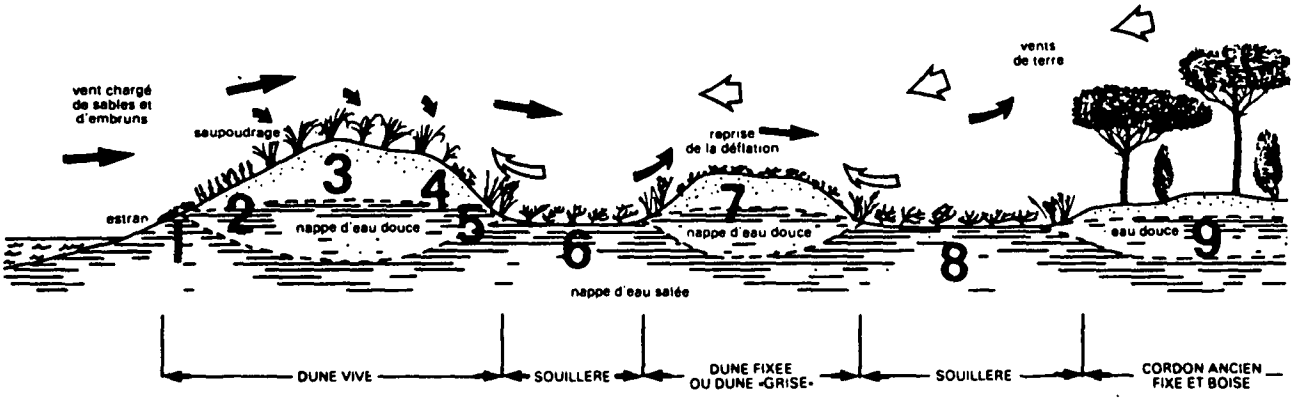
En colonisation dense l'oyat peut à lui seul retenir le sable et empêcher le vent d'agir.

Au fur et à mesure que l'on éloigne du bord de mer, les conditions difficiles s'atténuent (embruns salés, apport de sable, vent), permettant ainsi à une végétation plus diversifiée de s'installer.

Jusqu'à présent les espèces rencontrées constituent la végétation pionnière des dunes bordières.



Distribution de la végétation des dunes littorales du Nord de la France (DUVAL, 1986)



Distribution de la végétation dunaire du Golfe du Lion (ALLAG-DHUISME et al., 1986)

1. Zone à végétations halonitrophiles (liées à un milieu salé, riche en matière organique telles *Cakile maritima, Salsola kali* en touffes éparses.
2. Zone de végétation à *Agropyrum junceum* préférentiellement en raison de l'influence de la salinité du milieu.
3. Dune vive à oyat : zone d'élification.
4. Zone en cours de stabilisation ; l'oyat régresse progressivement en raison de la réduction des apports sableux ; d'autres espèces comme *Medicago marina, Echinophora spinosa, Cakile maritima, Euphorbia paralias* s'installent.
5. Végétation hydrophile à choins, scirpes ou joncs, en raison des remontées capillaires d'eau douce.
6. Zone salée où s'installe la salicorne.
7. Dunes où reprennent les processus d'érosion éolienne ; la crucianelle et son cortège s'installent, l'oyat se raréfie, le relief est cahotique.
8. Dépression interdunaire large, soumise à l'influence des remontées d'eau salée colonisée par une végétation halophile (salicorne).
9. Ancien cordon dunaire fixé, à l'abri des embuns, ce qui permet l'installation des résineux et en particulier *Pinus pinea, Pinus pinaster, Pinus halepensis, Juniperus phoenicea.*

d). La zone de la dune grise :

Elle possède une végétation herbacée plus rase, des mousses, et des lichens (tapis bryolichénique).

La dune grise est colonisée par des pelouses riches en fétuques.

Les mousses sont localisées sur les portions décalcifiées de la dune. La décalcification correspond à une diminution de la teneur en carbonate consécutivement au lessivage par les eaux de pluie.

Ces mousses ont une teinte foncée, c'est pourquoi, la dune est parfois qualifiée de dune noire.

Ce tapis de "mousses" est constitué par :

- Tortula rariformis
- Corynephorus canescens (poacée)
- Sedum acrum

Ce tapis est très fragile au piétinement, surtout en été où il a l'aspect et la structure cassante d'une croûte.

e). La zone de la dune arbustive :

C'est ici que les premiers végétaux ligneux apparaissent. Ils ont une forme de fourrés. Les arbustes qu'on y trouve sont :

- Hippophae rhamnoïdes : l'argousier, qui est un arbuste épineux, dominant sur ces lieux,
- Ligustrum vulgare, le troëne,
- Sambucus nigra : le sureau noir,
- Salix arenaria : le saule rampant des sables.

Ces buissons forment des fourrés très denses pratiquement impénétrables.

Ils remplacent facilement lors de mise en défens les barrières artificielles. Ils assurent une phytostabilisation durable des sables. Le saule rampant, est une espèce stolonifère, ce qui est intéressant pour les opérations de

fixation des dunes, de plus son aire de développement est très large.

f). La zone de la forêt littorale :

Elle termine la série de végétation. En arrière des fourrés arbustifs, s'installe un haut taillis de bouleaux (Betula pubescens) et de saule (Salix alba, S. aurita), qui est l'expression de la forêt naturelle du sable (forêt climacique).

Ce taillis est surtout développé dans les zones les plus fraîches, voire les plus humides de la dune. Populus tremula (tremble), P. alba (le peuplier blanc), P. canescens (), Alnus glutinosa (l'aulne glutineux) peuvent apparaître en accompagnement. On trouve du troëne sauvage en sous-strate.

Dans les zones les plus sèches (xérocère dunaire), avec le bouleau, s'installent le frêne (Fraxinus excelsior) et l'érable sycomore (Acer pseudoplatanus), qui n'est pas une espèce spontanée.

Sur les versants continentaux de la dune apparait des groupements à ormes (Ulmus campestris), bien attaqués par la graphiose. Ces groupements marquent la limite ouest de l'ormaie littorale.

Souvent un forêt de substitution à base de pins est établie. Elle présente un intérêt sylvicole indéniable, mais le potentiel écologique est diminué.

Dans les zones les plus humides de la dune (hygrocère dunaire), s'installent des groupements hygrophiles. Ces zones dunaires sont des dépressions où affleure la nappe d'eau douce. Les végétaux que l'on rencontre sont : des groupements aquatiques riches en Batrachium et Charophycées. Des groupements d'atterissements périodiques Samolus valerandi et Littorela lacustris, des groupements prairiaux à Joncus. Au bord de la mare est localisée la forêt hygrophile à aulnes et saules.

2). L'aménagement des dunes :

L'action de l'homme sur la dynamique dunaire revêt généralement un caractère négatif. Celui-ci se manifeste par les prélèvements de matériaux, l'extraction de sable, des constructions lourdes qui modifient l'équilibre sédimentaire entre l'avant-plage et la plage (digues, épis). Le tourisme avec tout ce que cela implique : la surfréquentation, le piétinement, la moto verte, le camping, l'urbanisation..., détruit la couverture végétale de la dune, libérant le sable qui peut à nouveau être pris en charge par le vent.

Cependant, les activités humaines peuvent également être positives pour la survie de la dune. D'autant plus que les mouvements de protection de la nature se sont fortement développés ces dernières années.

Les interventions peuvent aller de la simple protection d'un cordon dunaire en équilibre, jusqu'à sa création, en passant par le colmatage de brèches, une rectification du profil de la dune , et une stabilisation de cordon dunaire.

Mis à part la protection d'un cordon dunaire, ces interventions nécessitent l'emploi de moyens physiques (ganivelles), avant la plantation des végétaux.

2.1). La restauration des dunes :

a). Le colmatage des brèches :

Les brèches dans les cordons dunaires permettent les invasions marines des terres. Le colmatage des brèches peut se faire selon deux stratégies. La première consiste en l'installation de plusieurs rangées de ganivelles en gueule de brèche, c'est à dire à l'emplacement normal de la crête de la dune. Au fur et à mesure de leur saturation par le sable, on superpose d'autres ganivelles sur le même emplacement. Lorsque le bourrelet sableux est suffisamment élevé (généralement il faut trois étages de ganivelles), la colonisation par la

végétation peut se faire. La colonisation peut être spontanée et suivre le modèle décrit précédemment (d'abord installation du cakilier, puis du chiendent des sables et enfin de l'oyat qui tend à faire disparaître sous le sable les ganivelles).

La seconde stratégie est le colmatage des brèches en profondeur qui consiste à la pose de ganivelles en gueule de brèche, sur le plancher et les flancs de la brèche. Dans ce cas on favorisera d'abord l'installation de la végétation (oyat) sur les flancs de la brèche, pour éviter leur érosion par le vent, puis sur le plancher au fur et à mesure de sa mise hors de l'eau.

b). La rectification du profil de la dune :

La rectification du profil de la ligne de crête du cordon dunaire s'effectue par la mise en place de lignes de ganivelles superposées à l'emplacement de la future crête. La superposition est effectuée jusqu'à ce que le bourrelet sableux soit hors d'atteinte des plus hautes eaux de tempêtes. La plantation d'oyat est réalisée sur les flancs entre l'ancienne et la nouvelle crête.

c). La protection d'un cordon dunaire en équilibre

La stabilisation des bourrelets dunaires continus et qui ne présentent pas de gros défaut est réalisée par la mise en place de ligne de ganivelles en façade maritime et suivant les courbes de niveau, et elle est suivie par une végétalisation des parties blanches de la dune sur le versant maritime et sur le revers.

d). La création d'un cordon dunaire :

Quant à la création d'un cordon dunaire, elle peut être réalisée au moyen d'ouvrage en ganivelles seul, ou à l'aide de matériaux de dragage (sable+cailloux) complétés, des ganivelles pour régulariser le profil. Les ganivelles sont superposées jusqu'à obtenir un bourrelet sableux hors d'atteinte des plus

hautes eaux de tempête, puis plantation d'oyats et mise en défens pendant 2 ou 3 ans. Dans le second cas, les plantations (oyats plus ligneux) sont effectuées dès l'équilibre du profil.

2.2). Les plantations des végétaux dans la dune

Une colonisation spontanée par la végétation de ces ouvrages de restauration peut être envisagée. Cependant, il faut noter que l'installation spontanée est parfois très lente, c'est pourquoi il faut envisager la plantation.

2.2.1). Les conditions de réussite des plantations en bord de mer :

Cette réussite dépend de l'entretien, des techniques d'installation, de protection aux vents venant de la mer, de la préparation du sol, et du choix des végétaux.

En ce qui concerne les arbustes et les arbres, il faut :

- prendre des plants très jeunes, qui ont une à deux saisons de végétation. Ils ont moins de racines, et offrent une meilleure reprise. D'autre part le coût est 10 à 50 fois moins cher que ceux de 1,5 m. Et la crise de transplantation est considérablement réduite.(résultat enquête)
- il est toujours préférable d'utiliser des plants venant d'un pépiniériste local.(GUINAUDEAU, 1987 ; enquête)
- les plants en godet sont intéressants, car ils permettent de planter les arbres de la mi-octobre jusqu'à mai. De plus, ils peuvent contenir des provisions en sels minéraux et en eaux utiles pour leur développement.
- Il est préférable de réaliser les plantations à une époque de faibles marées et où les risques de tempêtes sont réduits, cela limite l'immersion (TURPAUD, 1986)

Il faut des godets assez grands pour éviter que les racines fassent un chignon. Pour un plant d'une saison de végétation il faut prendre un godet de 400 cm3 environ.

La fertilisation dans les dunes est encore à un stade expérimental.

Dans les régions où il existe du gibier, les plantations sont protégées à l'aide de manchons en grillage, ou en plastique. Une mise en défens à l'aide de clôture peut s'avérer utile dans les zones très fréquentées, et ce dans les premières années de la plantation.

La plantation des arbustes peut se faire directement dans le sable, si les végétaux ont été cultivés dans ce substrat. Sinon, on placera un mélange de sable et de tourbe dans le trou de plantation.

Lorsque c'est possible on pratique le bouturage sur place, à proximité des plantation.

Enfin une amélioration des taux de reprise des arbustes et des arbres est obtenue sur une dune qui possède déjà une couverture végétale (résultat enquête). Les plantes utilisées sont des végétaux pionniers couvre sol qui colonisent les sables nus. Ce sont pour la plupart des herbacées, dont la plus utilisée est l'oyat.

2.2.2). Les herbacées couvre sol :

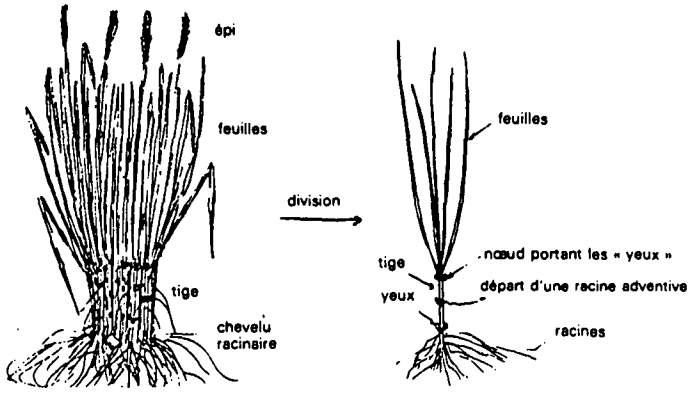
Du Nord au Sud de la France, l'oyat est l'herbacée la plus utilisée pour la fixation des dunes. Ses caractéristiques morphologiques, et surtout une bonne maîtrise des techniques de sa plantation (acquise dans les Landes de Gascogne) en sont les raisons.

a). L'oyat :

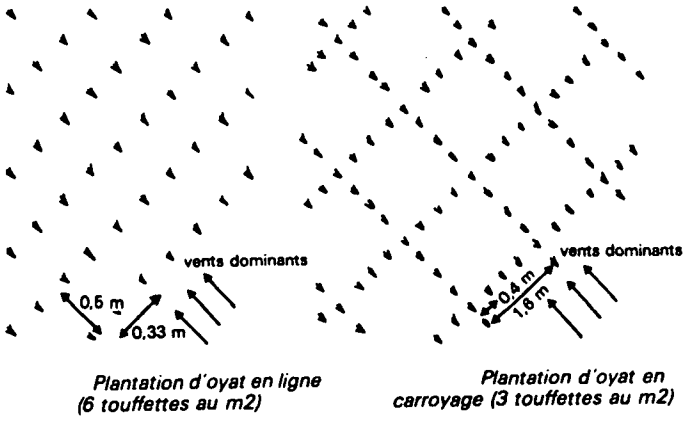
La plantation de l'oyat passe par deux étapes, le prélèvement des plants, et la plantation proprement dite.

- Le prélèvement des plants :

La collecte des plants consiste à prélever des touffes bien vertes et vigoureuses dans les zones denses et en évitant de créer des trous dans le couvert végétal. Le prélèvement est effectué à la bêche pour bien les couper et récupérer le maximum de noeuds qui permettront une meilleure reprise. Les touffes sont ensuite divisées en brins unitaires. Chaque brin est



Morphologie de l'oyat
(DUVAL, 1986)



Les différents modes de plantation de l'oyat
(DUVAL, 1986)

nettoyé en retirant les feuilles mortes, les chaumes, et les débris organiques (car il ne supporte pas le contact de la matière organique en décomposition). Il faut au moins 2 noeuds racinaires par plant. La reprise peut être accélérée en rabattant la partie aérienne.

Généralement on essaye de planter les brins dès leur prélèvement. Sinon, ils sont mis en jauge dans un trou de sable humide. Dans ce cas, le délai entre le prélèvement et la plantation doit être inférieur à 24 heures. En Gironde, l'ONF les place en chambre froide.

- la plantation des oyats :

La plantation des oyats se pratique généralement vers la fin de l'automne et au début de l'hiver, où l'humidification du substrat est suffisante pour permettre une bonne reprise. La plantation avant une période de sécheresse est en effet néfaste pour celle-ci.

Les oyats, en touffettes de trois à six brins, sont plantés en quinconce. Elles devront être enterrées sur la moitié de leur hauteur.

La densité des plantations varie de 40 000 à 60 000 touffettes à l'hectare sur les zones sans végétation.

La plantation de l'oyat peut s'effectuer en ligne (6 touffettes au m2) ou en carroyage (3 touffettes au m2).

Les touffettes sont espacées les unes des autres de 0,25 à 0,4 m, sur des lignes de plantations distantes de 0,3 à 0,5 m. Les lignes de plantations sont orientées perpendiculairement aux vents.

Le carroyage consiste à planter les oyats selon un réseau plus ou moins lâche : un carré de 1,5 à 4 m de côté.

La multiplication de l'oyat peut se faire soit par semis soit par éclat ou fragmentation du rhizome (ce que l'on vient de voir, et qui est la plus efficace).

La multiplication par semis consiste à semer en automne les graines récoltées en juillet ; la germination a lieu au printemps. Cette technique est très aléatoire. La jeune plantule ne résiste pas à la sécheresse, à l'ensablement important, et au

déchaussement. Il lui faut trois ans pour donner des souches résistantes.

L'origine des plants est importante. On préférera l'utilisation d'oyat provenant de pépinière de la région, s'il en existe, sinon leur prélèvement s'effectuera dans les zones les plus denses de la dune.

Il faut surtout ne pas laisser aller les plantations. Il faut les surveiller, et les regarnir dès qu'il y a déchaussement, ou que la reprise ne fait pas, et ainsi éviter la formation d'une plage d'envol.(DUVAL, 1986)

Dans le cas de chantier de fixation d'une surface importante, il est utile de quadriller le site par un réseau de fascines (ce sont des fagots de brindilles et de rameaux assemblés. Elles ont généralement un diamètre de 10 cm sur 1 à 2 m de hauteur. Elles sont plantées dans le sable à une profondeur de 50 à 60 cm, côte à côte sur la longueur à traiter) basses (1 mètre). Les fascines éviteront l'affouillement par le vent du sable superficiel et le déchaussement des touffes. De plus, elles provoquent un léger ensablement qui ne peut être que favorable à la reprise et à la vigueur des plants.(DUVAL, 1986)

Malgré cette connaissance très approfondie des techniques de plantations de l'oyat, l'emploi de cette herbacée ne peut être généralisé à toutes les situations.

En effet celui-ci sera limité dans l'espace, car l'oyat supporte mal le sel, le piétinement, et le tassement du sol. Il préfère se développer sur les sols meubles, à ensablement régulier. Un ensablement trop fort peut être néfaste pour les jeunes plants.

b). Les autres herbacées :

Dans les zones défavorables au développement de l'oyat, d'autres végétaux herbacés peuvent être employés pour la fixation des sols. Mais ils sont encore à l'étape de l'expérimentation, en ce qui concerne leurs techniques de plantation. C'est la cas par exemple du chiendent des sables,

qui supporte mieux le sel et le fort ensablement que l'oyat. Il est utilisable au niveau des dunes embryonnaires et sur le versant marin des profils. Le chiendent des sables est d'ailleurs employé en semis massifs en Allemagne du Nord pour fixer les dunes embryonnaires.

En fait, pour réaliser une stabilisation efficace de la dune, il est bon de se référer aux végétaux qui la colonisent spontanément. Dans le cas d'une colonisation spontanée, l'oyat est accompagné d'autres espèces (le carex et l'euphorbe des sables le chardon bleu, le liseron des sables,...) qui varient selon les régions. Les mélanges spontanés montrent en effet une bonne complémentarité (au niveau de l'appareil racinaire) et une meilleure efficacité sur la fixation du sable que l'oyat seul. De plus, elles sont d'une meilleure durabilité dans le temps grâce à une dynamique interne mieux adaptée (la dégénérescence de l'oyat est corrigée). Ces associations végétales, ont l'avantage d'assurer une plus grande couverture de la dune, ce qui limite l'érosion éolienne. (DUBREUIL, 1984 ; PASKOFF, 1989b)

Quand la dune vieillit, l'oyat est progressivement supplanté par d'autres végétaux, et notamment des ligneux. Dans le cas où il n'y a plus d'apports réguliers de sables, l'oyat dépérit, il est alors préférable d'anticiper la série de végétation en introduisant suffisamment tôt les ligneux.

2.2.3). La plantation des arbres et des arbustes

Les principaux facteurs limitants des plantations sont la salinité du sol ou des embruns, et le vent.

Parmi les ligneux, certains sont plus résistants que d'autres à la salinité. Les plus résistants sont placés en première ligne, et servent alors de protection aux les plus fragiles. Globalement, on considère trois groupes de végétaux selon leur résistance au sel : les très résistants, ceux nécessitant une protection et des intermédiaires (résultats expérimentaux du SERFOB (Service Régional de la Forêt et du Bois) cité par ALLAG-DHUISME, 1986).

a). Les végétaux très résistants :

Ce sont des arbustes qui placés en première ligne forment un rideau protégeant les plantes poins résistantes. Ils agissent comme brise-vent ou piège à sable.

Ces végétaux sont des espèces pionnières capables de pousser sur des milieux non jardinés, ou des sables nus, comme par exemple : le pourpier de mer (Atriplex halimus), le tamaris (Tamarix gallica), l'olivier de Bohême (Eleagnus angustifolia),...(voir annexes)

b). Les végétaux résistants :

Ils sont moins résistants que les précédents vis-à-vis du sel. Ils tolérent avec modération les embruns et les sols superficiels secs pouvant contenir du chlorure de sodium (AUGE cité par CROCI, 1989). Mais ils peuvent former les premières lignes.

Il s'agit par exemple de Morus platanifolia, Populus alba, Ailanthus glandulosa, Pittosporum tobira, Evonymus japonicus, des acacias, olearia, escallonia, Ligustrum...

Les arbustes peuvent être utilisés dans un stade préalable à l'installation de brise-vent naturel pour les arbres, ou dans le cadre d'aménagement destinés à l'acceuil du public et au contrôle de la fréquentation.

c). Les végétaux nécéssitant une protection contre les embruns salés :

Il s'agit des pins (Pinus pinea, halepensis, pinaster), du cyprès de Lambert, de l'argousier (Hyppophae rhamnoïdes), des eucalyptus...(ALLAG-DHUISME, 1986)

La création d'un boisement sur dune est très délicate.

Ainsi, dans le cas d'un aménagement d'une zone dunaire non fixée, il est préférable d'introduire en premier lieu des essences pionnières qui sont soit des arbustes (Eleagnus, Olearias, Tamarix), et/ou des arbres recepés en taillis (saules, peuplier blanc). En effet ceux-ci ont une vigueur, une

croissance, et une rusticité meilleures que celles des sujets de franc pied (issus de semis). On pourra, après une dizaine d'années, implanter des essences plus longévives, avec des qualités plus interéssantes selon l'usage que l'on veut en faire (pins).

Les boisements des dunes sont généralement à vocation forestière. Les espèces les plus souvent rencontrées sont des conifères tels que les pins (noir, maritime, insignis, d'Alep, pignon, laricio de Corse ou de Calabre, ...), les cyprès. Il y a également des feuillus : le peuplier blanc, l'orme champêtre, l'érable plane, le chêne vert, ...

En plus de cette zonation basée sur la tolérance vis à vis du sel (dans le sol ou dans l'air), on trouve aussi une zonation verticale au fur et à mesure que l'on s'éloigne du rivage, la végétation s'élève.

Le choix des végétaux dépend de l'emploi qu'on leur réserve. Dans tous les cas, il est préférable d'utiliser des espèces qui font partie des essences qui colonisent spontanément la dune, et de les mélanger avec des espèces plus horticoles pour l'acceuil du public.

Ce sont par exemple dans le Nord de la France :

- Hippophae rhamnoides
- Ligustrum vulgare
- Sambucus nigra
- Salix arenaria. (DUVAL, 1986)

Précisons que le saule rampant est intéressant pour fixer le sable. Il se multiplie par des tiges stolonifères, ce qui assure le recouvrement d'une surface par un pied assez rapidement, en formant des taches vert-argent très denses.

L'utilisation d'espèces indigènes a d'ailleurs été préférée pour les situations très exposées lors de fixation de digues sur la façade atlantique. Du rivage vers le haut de la digue on trouve les espèces indigènes : Spartina maritima (spartine maritime, graminée), Atriplex portulacoïdes (obione portulacoïde, sous arbrisseau), et Suaeda fructicosa (soude ligneuse, sous arbrisseau). Sur le haut de la digue se sont des

espèces introduites qui ont été plantées : le gynérium (Cortaderia selleona), le séneçon en arbre (Baccharis halimifolia), et l'arroche maritime (Atriplex halimus). Ces dernières ont donné de bons résultats contrairement à l'olivier de Bohême. (TURPAUD, 1986). Cet exemple a été choisi pour illustrer l'importance de l'utilisation d'essences indigènes et introduites dans une situation très exposée, mais ici dans un sol argileux et compact. Autre exemple de végétalisation : la zone côtière du Var.

d). Exemple de végétalisation en zone côtière : le Var

Mr. CHABERT (expert, DDE Var) préconise l'utilisation de plantes adap tées ayant un caractère dynamique. De plus, la végétation s'élève vers l'intérieur des terres, telles qu'il y ait une protection mutuelle des plantes. Ainsi par exemple dans le Var, les plantations du rivages vers l'intérieur sont :

- une couverture basse: végétation rampante de Carpobrotus, Senecio scandens, Lampranthus ethnopsis, avec implantation d'agave et opuntia.
- un rideau frontal : Atriplex halimus, Baccharis halimifolia, Arundo donax, Nicotiana glauca, avec incorporation de Tamarix, Eleagnus angustifolia.
- Une première bande : Juniperus phoenicea, Hippophae rhamnoides, Lycium, Bupleurum fructicosum, Medicago arborea, Anthyllis barbajovis, Eleagnus ebbengei.
- une 2ème bande : Myoporum, Pittosporum tobira, Grisellinia littoralis, Myrtus communis, Buddleia globosa, Spartium junceum avec incorporation de Washingtonia.
- une 3ème bande : Cistus salviaefolius et albidus, Escallonia, Rhamnus alaternus, Lavatera maritima et olbia, Pistacia lentiscus et terebinthus, Senecio greyi, Vitex agnuscastus, et incorporation Acacia longifolia, floribunda, et dealbata.
- une 4ème bande : Phillyrea angustifolia, Teucriom fructescans, Pittosporum mayi, Nerium oleander, Callistemon, Viburnum tinus, Cupressocyparis leylandii, Albizzia lophantha,

Arbutus unedo, Rosmarinus officinalis, Laurus nobilis, Criocephalus.

- des arbres : Quercus ilex, suber, Pinus halepensis, pinea, laricio, Eucalyptus amygdalina, Casuarina equisetifolia, Cupressus arizonica, Ceratonia siliqua, Phoenix, Acacia melanoxylon, Cupressus sempervirens. (CHABERT cité par CROCI, 1989).

Dans les sites exposés aux vents il est nécessaire de prévoir une protection par des brise-vent (naturels ou artificiels).

2.3). L'information au public :

La stabilisation des dunes passent non seulement par des travaux de terrassement et des plantations mais aussi par une meilleure information et une gestion de la fréquentation par le public. L'information est effectuée par la mise en place sur le site de panneaux visant à sensibiliser le public de la fragilité de la dune, et au respect du milieu. La gestion de la fréquentation est réalisée par exemple par l'aménagement de voies piétonnes (escalier, caillebotis) qui canalisent le passage du public lorsqu'il se rend à la plage et évite la dégradation de la végétation. Cette gestion peut être encore réalisée par la limitation de circulation des véhicules.

CONCLUSION

Les contraintes des milieux littoraux (sécheresse édaphique, contrainte minérale, salinité du sol ou des embruns, le vent) sont autant de facteurs limitant le développement des végétaux. Ils sont les moteurs d'une pression de sélection, qui ne permet pas aux végétaux adaptés de vivre ou de survivre quand des conditions exceptionnelles surviennent (tempêtes, sécheresse).

En plus de tous ces facteurs "normaux" en milieu littoral, il y a les autres : les maladies, les polluants...

Si les premières peuvent être prévenues par l'observation des niveaux de population dans le cas des insectes, ou circonscrites par des méthodes chimiques (fongicides, insecticides), la lutte contre la pollution du littoral est rendue plus difficile par la multiplicité des sources de pollutions (urbaines, agricoles, industrielles, maritimes).

En effet, l'urbanisation sur le littoral sans cesse croissante entraine une multiplication des points de rejet des eaux résiduaires dans le milieu naturel. Il est donc très important que ces rejets soient au maximum non domageables pour le milieu marin, les activités de pêches, de conchyculture, balnéaires, et respectent la qualité des eaux.

La pollution des eaux littorales est due à 70% à des rejets d'origine terrestre.

Afin de contrecarrer les risques de pollution, des actions sont menées au niveau national et international par une amélioration de la législation, par la surveillance et la protection de la qualité des eaux littorales, fluviales et de l'environnement en général.

La législation et la réglementation en matière de qualité des eaux proposent des textes relatifs à la "police des eaux", à l'assainissement, ainsi qu'à la qualité du milieu.

Plusieurs ministères interviennent et se concertent afin d'améliorer la qualité des eaux littorales. Il s'agit des ministères de l'Environnement, de l'Equipement, de la Mer et de la Santé.

Les actions menées par le Ministère de l'Equipement en faveur de l'eau se concrétisent par le Plan Urbain qui se préoccupe de l'eau dans la ville. L'Etat par la délégation de

bassin, les DRAE, (Direction Régionale de l'Architecture et de l'Environnement), les DDE (Direction Departementale de l'Equipement), les services de police de l'eau, les agences de l'eau qui passent des contrats rivières avec les élus et veillent sur le littoral et les zones humides.

Les DRAE vérifient que la loi littorale est bien respectée. Elles interviennent également pour protéger certains sites du littoral de la spéculation, par l'instruction de dossiers de classement des sites, de réserves, ou d'arrêtés biotopes. Cette action est notamment menée sur le littoral de la Manche. Ainsi, 6500 ha de dune, falaise, forêts, pré salés ont été placés en zone de préemption et soustrait à la spéculation.

Les réseaux de surveillance des eaux sont multiples : la banque national de données hydrométriques (HYDRO), la banque nationale de données pluviométriques (PLUVIO), la réseau de surveillance de la qualité des eaux de baignade géré par le Ministère de la Santé, le réseau national de bassin (RNB) et le réseau national d'observation du milieu marin (RNO).

Le RNB assure la surveillance de la qualité des cours d'eau du territoire métropolitain. Les mesures sont effectuées sur 900 points.

Comme le RNB, le RNO a été mis en place par le Secrétariat d'Etat à l'Environnemnt. Il est chargé de l'évaluation des niveaux et tendances des polluants et des paramètres généraux de la qualité du milieu marin. Il est fonctionnel depuis 1974. Il surveille également l'état de santé de la flore et de la faune marines.

Il y a 43 sites de mesure, repartis le long du littoral, à une petite distance des côtes. La fréquence des mesures de l'eau, de la matière vivante (mollusques, poissons) et des sédiments est de 2 à 5 fois par an en Manche-Atlantique (littoral affecté par de fortes marées), et de 6 à 12 fois par an en Méditerranée où les marées sont plus faibles.

En 1990, le coût du RNO s'est élevé à 5,3 millions de francs.

Les recherches du RNO portent sur les principaux polluants (métaux lourds, pesticides, substances toxiques d'origine

industrielle, substances nutritives susceptibles d'entrainer des phénomènes d'eutrophisation).
Le RNO rensei gne sur l'évolution des concentrations de ces substances dans les eaux littorales, mais pas sur leur origine (transport par les fleuves, rejet direct dans le milieu marin à partir d'installations côtières ou situées en mer, retombées après transport atmosphérique).

L'ensemble des activités du RNO est coordonné par l'IFREMER (Institut Français de la Recherche pour l'Exploitation de la Mer) pour le compte du Ministère de l'Environnement.

L'urbanisation des côtes nécessite un assainissement complexe, qui doit prendre en compte différents paramètres, comme le maintien de la qualité du milieu marin, des eaux de baignade, ... Le système d'assainissement doit également rester efficace lors des grandes affluences touristiques en été. Il est important que le tracé et la mise en place des réseaux prennent en compte la rapidité de l'urbanisation sur le littoral.

L'assainissement en bordure du littoral est l'affaire des Divisions Départementales de L'Equipement, des agences financières de bassin, des communes.

Il existe au niveau international différentes coopérations pour la surveillance et la protection des eaux de baignade.

Ainsi au niveau de la CEE, la directive communautaire du 8 décembre 1975 fixe la qualité minimale des eaux de baignade. Un délai de 10 ans est accordé aux états membres pour rendre la qualité de leurs eaux de baignade conforme à ses dispositions (en France, 89,3% des plages en 1989 respectent cette directive, et 5 plages sont systématiquement polluées). Par ailleurs, la Fondation à l'Education par l'Environnement a mis en place l'opération "Pavillon Bleu" à laquelle le Secrétariat d'Etat chargé de l'Environnement participe. Le pavillon bleu est decerné aux communes et ports du littoral qui oeuvrent en faveur de l'Environnement, au niveau de l'urbanisation, l'information du public, la gestion des déchets, la qualité des eaux de baignade, efforts d'assainissement...

D'autres actions internationales agissent en faveur de la protection des eaux littorales.

Ainsi, le Plan d'Action pour la Méditerranée est une coopération entre pays méditerranéens, il est placé sous l'égide du Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE). La coopération porte sur les méthodes de surveillance continue du milieu marin (notamment les zones de baignade), et sur les mesures à prendre pour lutter contre la pollution des eaux.

Toujours au niveau de la Méditerranée, l'accord RAMOGE est une coopération entre la Principauté de Monaco, l'Italie, et la France, sur la protection du littoral entre la presqu'île de Giens et Gênes. Cet accord traite d'un suivi permanent de la qualité des eaux, l'évaluation des flux de pollution apportés à la mer par les fleuves et les quantités de déchets flottants parvenant sur les plages françaises ou italiennes.

Une coopération franco-espagnole existe pour la surveillance des déchets flottants polluants sur les côtes basques et landaises.

La Convention Mer du Nord réunit les pays riverains de la mer du Nord et de la Manche. En mars 1990 à La HAYE, les ministres de l'environnement de ces pays se sont réunis et ont établi une liste des produits toxiques et dangereux pour l'écosystème marin . Ils se sont imposés une réduction des apports de ces produits pour les années à venir (1995 à 1999, selon les substances).(GUETTIER et al., 1990)

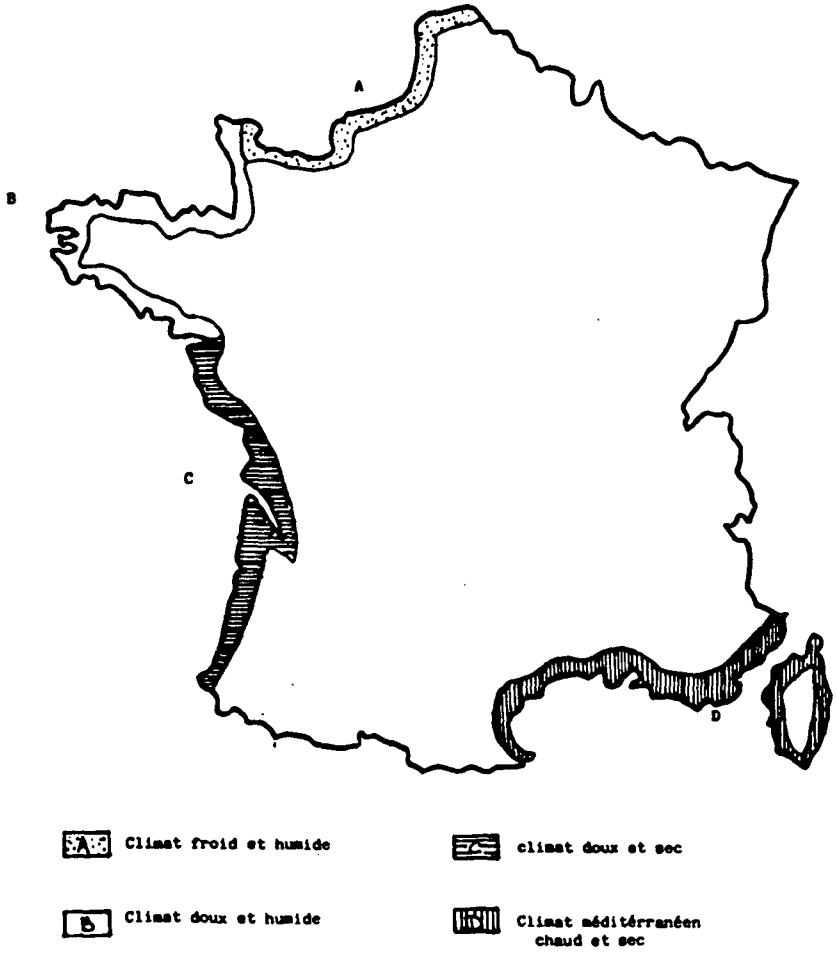
Le respect de l'environnement passe également par l'information auprès du public.

ANNEXES

ZONES BIOCLIMATIQUES SUR LE LITTORAL FRANÇAIS.

Le climat rencontré en bordure du littoral peut être découpé en quatre zones:

- une première zone allant du Nord-Pas-de-Calais jusqu'au dessus de Cherbourg, à climat plus froid et humide.
- une seconde zone allant de Cherbourg à Nantes, à climat doux et humide.
- la troisième zone concerne le reste des côtes atlantiques, elles ont un climat doux et sec.
- et la quatrième zone constituée par les côtes méditerranéennes et corses, au climat méditérranéen, à hiver doux et à été très chaud.



LES ARBRES ET ARBUSTES UTILISES EN HAIES BRISE-VENT EN BORD DE MER (IDF, 1981)

Genre espèce	Zones climatiques				Sols									Embruns
	A	B	C	D	AH	AS	L	A	LA	C	F	S	SU	
Arundo donax			x	x	x	x	x	x	x	x	x			TR
Atriplex halimus	x	x	x	x	-	-	x	-	-	-	-	-	-	TR
Baccharis halimifolia	x	x	x		-	-	-	-	-	x	-	x	x	TR
Cupressus macrocarpa lutea		x	x			-	x	x	x		-	-	-	R
Eleagnus angustifolia			x	x	-	x	x		-	x	x	x	-	R
Eleagnus ebbengei	x	x	x	x		-	-	x	x		-	-	-	TR
Escallonnia macrantha et variétés		x	x			x	x	x	x		x			
Evonymus japonicus		x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	TR
Hyppophae rhamnoides	x	x				-	x		-	x	-	x	-	TR
Ligustrum vulgare	x	x			x	x	-	-	x	-	x		-	R
Lycium barbarum	x	x	x	x	-	-	x	-	x	x	-	-		TR
Morus kagayamae				x		x	-		x	x	x			R
Olearia virgata		x			x	x	x	x	x		x	x	x	TR
traversi		x				x	x	x	x		x	x	x	TR
Pinus nigra var. calabrica			x	x		x	-	-	x		x	-	-	R
austriaca	x	x			x	x	-		-	x	-	-	-	R
Pinus muricata	x	x					x	x						R
Pinus pinaster			x	x		x	x	x	x		x	-	-	R

Genre espèce	Zones climatiques				Sols									Embruns
	A	B	C	D	AH	AS	L	A	LA	C	F	S	SU	
Pinus radiata		x				-	x	x	-		-	x	-	TR
Pinus thunbergii	x	x					x	x	x		-	-	-	TR
Pittosporum tobira		x	x	x		x	-	-	x	-	-	-	-	TR
Populus alba bolleana	x	x	x	x	x	x	-		x	x	x			R
Populus tremula	x	x			x	x	-	-	x	-	x		-	R
Quercus ilex		x	x	x		x	-		x	x	-	x	-	R
Salix caprea	x	x				x	x	-	x	x	x	x	-	R
Salix atrocinera	x	x			x	x	x	x	x		x			R
Salix arenaria	x	x				-	-		x	x	x	x	-	R
Tamarix gallica	x	x	x	x	-	x	x	x	x		x	-	-	TR

Légende : x adapté — TR : très résistant

- pouvant convenir — R : résistant

blanc inadapté

sols : AH : argileux humide — AS : argileux sain

L : léger — A : acide — LA : léger acide

C : calcaire — F : frais — S : sec

SU : superficiel

Structure du sol :

- argileux sain : ce sont des sols lourds sans excés d'humidité.
- argileux humide : ce sont des sols asphyxiants pouvant connaître de fortes alternances d'humidité et de sécheresse. Ils ne sont cultivés qu'après drainage.
- léger : ce sont des sols sableux ou comportant du sable. Ils peuvent être acides (issus de sols primaires, comme le granit), ou calcaires (dunes littorales et certaines alluvions fluviales)

Le pH du sol :

- acide : pH inférieur à 5,5.
- calcaire : pH supérieur à 7, comportant du calcaire actif.

L'alimentation en eau du sol :

Frais : bien alimenté en eau toute l'année.

Sec : sol ayant un fort déficit en eau en été.

La profondeur du sol :

Superficiel : Sols pour lesquels la couche de terre cultivable ne dépasse pas 20 à 30 cm.

VEGETAUX RESISTANTS AUX EMBRUNS SALES (IDF, 1981, et d'après enquête)

Genre espèce	Zones climatiques				Sols								
	A	B	C	D	AH	AS	L	A	LA	C	F	S	SU
Acacia dealbata		-	-	x			x	x	x		-	-	x
Acer campestre	x	x	x			x	-		x	x	x	-	-
Acer pseudoplatanus	x	x	x	-	-	x	-	-	x	x	x		-
Alnus cordata	-	-	-	-		-	x	x	-	-	x	-	
Alnus glutinosa	x	x	x	-	x	x	-	-	x	-	x		-
Arbutus unedo		x	x	x		-	x	x	-		-	x	x
Betula verrucosa	x	-	-		-	-	x	x	-		-	x	x
Carpinus betulus	-				-	x		-	x	x	x		-
Colutea arborescens				x		x	-		-	x		x	x
Cornus sanguinea	x	-	-	-	x	x	-	-	x	x	x	-	-
Crataegus monogyna	x	x	x	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cupressocyparis leylandi	x	x	x	-	-	x	-	-	x	-	x	-	-
Evonymus europaus	x	x	x	-	-	x			x	x	x	-	-
Ficus carica		-	-	x		x	x		-	x	-	x	
Fraxinus excelsior	x	x	x	-	-	x	-	-	x	x	x		
Ilex aquifolium	x	-	-			x	x	x	x		x	-	-
Laurus nobilis				x		x	-		x	x	x	-	

Genre espèce	Zones climatiques				Sols								
	A	B	C	D	AH	AS	L	A	LA	C	F	S	SU
Laurus lusitanica	-	x	x	-		x	-	-	x	x	x	-	
Ligustrum sp.	x	x	x	-		x	x	-	x	x	x	-	
Nerium oleander				x	-	x	-		-	x	x		
Ostrya carpiniflora	-	-	-	x	x	x			x	x	x		
Pistacia lentiscus				x	-	x	-		x	-	x	x	-
Pyrus cordata	x	x	x			x	-		x	-	x	x	
Prunus spinosa	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Quercus pendonculata	x	x	x		x	x	-	-	x	-	x		
Ribes rubrum	-	-	-	-	-	x			x	x	x		
Salix alba	x	x	x		x	x	-	-	x	x	x		
Salix viminalis	x	x	x	-	x	x	-	-	x	x	x		
Sambucus nigra	x	x	x	-	-	x	x		x	x	x		
Tilia cordata	x	-	-		-	x	x	-	x	x	x		-
Tilia tomentosa				x	x	x	-		-	x	-	x	-

LES ARBRES ET ARBRISSEAUX ACCLIMATES EN REGION MEDITERRANNEENNE FRANCAISE (AUGE, et al., 1973)

Arbres pouvant être placés aux abords immédiats du rivage

Genre espèce	Zones climatiques			Sols							
	OR	OL	PF	S	F	H	C	A	L	LO	SU
Acacia armata	-			x			x			x	
Acacia cyclopis	-			x			x			x	x
Acacia longifolia var.sophorae	-			x	x		-	x	x		x
Albizzia lophantha	-			x	x		x		x		x
Ceratonia siliqua	x			x	x		x		x		x
Eucalyptus botryoides	-			-	x	-	x	x			
Eucalyptus robusta	x			x	x	x	-	x	x	-	
Ficus macrophylla	-			x	x		x		x		
Lagunaria patersonii	x			x			x				
Phytolacca dioica	x			x	-		x				
Pittosporum crassifolium	x			x	x		x				
Tamarix aphylla	-			x	x		x				x
Tamarix chinensis	x	x	x	x	x		x				x
Tamarix junipera	x	x	x	x	x		x				x

Genre espèce	Zones climatiques			Sols							
	OR	OL	PF	S	F	H	C	A	L	LO	SU
Tamarix parviflora	x	x	x	x	x		x				x
Tamarix petandra	x	x	x	x	x		x				x
Tamarix tetrandra	x	x	x	x	x		x				x
Araucaria heterophylla	-				x	x	x				-

Arbres à placer en retrait avec une certaine protection

Genre espèce	Zones climatiques			Sols							
	OR	OL	PF	S	F	H	C	A	L	LO	SU
Acacia											
cyanophylla	-			x			x			x	x
verticillata	-			x			-	x	x	-	x
saligna	-			x			x			x	x
pycnantha	-			x			x			x	x
melanoxylon	x			-	x	x	-	x		x	-
longifolia	-			x	x		-	x	x		x
Arbutus andrachne	x	x		x			o	x	x		x
Broussonetia papyrifera	x	x	x	x	x		x		x	x	x
Casuarina											
glauca	-			x	x	x	x			x	-
stricta	-			x			x			x	x
Eucalyptus											
calophylla	-				x		o	x	x		
citriodora	-			x	x		o	x	x		
ficifolia	-			x	x		o	x	x		
leucoxylon	x			x	x		x	x			
maculata	-			-	x		o	x			
paniculata	x			-	x	x	x	x		x	
Melaleuca lanceolata	x			x			x				x
Pittosporum											
eugenioides	x			x	x		-	x	x		
phillyraeoides	x			x	x		x				
undulatum	x			x	x		x				
Schinus terebinthi-folius	x			x	x		x		x		x
Cupressus guadalupensis	x	x		x			x				x
Pinus pithyusa	x	x	x	x			x				x

Arbres à placer loin du rivage avec une bonne protection

Genre espèce	Zones climatiques			Sols							
	OR	OL	PF	S	F	H	C	A	L	LO	SU
Acacia											
baileyana	-			-	x		o	x	x		
cultriformis	-			x	x		-	x	x		
podalyriae-folia	-			-	x		o	x	x		
spectabilis	-				x		-	x	x		
Callistemon											
citrinus	x			x			x		x		
salignus	x			x			x		x		
speciosus	x			x			x		x		
viminalis	x			x			x		x		
Eucalyptus											
camaldulensis	x			x	x	x	x	x	x	x	o
torquata	-			x	x		x	x		x	-
Pittosporum rhombifolium	x			x	x		x				
Podocarpus macrophyllus	x	x		x	x		-	x			-
Washingtonia robusta	x	-		x	x		x	x			o
Phoenix dactylifera	x			x	x		x	x			

Légende :

sol :

S : sec F : frais H : humide

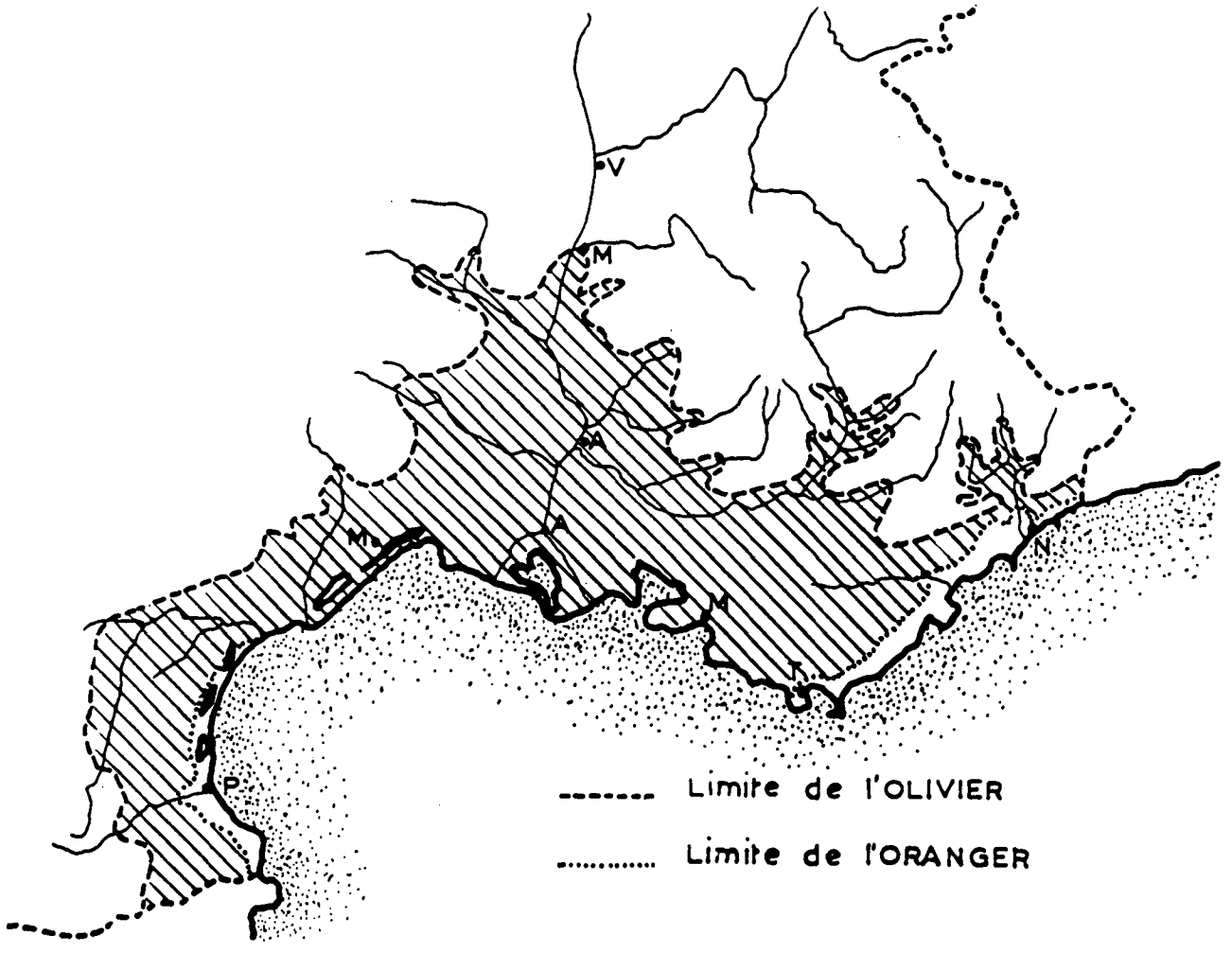
C : calcaire A : acide L : léger

LO : lourd SU : superficiel

Zones climatiques (voir carte) :

OR : oranger OL : olivier

PF : plus froid.



Session de Formation

Que planter sur les sols salins ?

Aménagements paysagers de la ville de LA ROCHELLE

Visite n° 1 : Lieu-dit **"Bois des pères"**

Situation : front de mer

Sol : falaise calcaire

Gamme végétale :

Buissonnants :

Arbutus unedo
Atriplex halimus
Baccharis halimifolia
Berberis darwinii et wilsonae
Buddleia lochinch
Bupleurum fructicosum
Cistus sp.
Coronilla glauca
Dorycnum hirsutum
Eleagnus angustifolia
Eleagnus x ebbingei
Euonymus japonicus sp.
Eupatorium micranthum
Euryops pectinatus (gélif)
Gynerium
Hebe sp.
Laurus nobilis
Lavandula angustifolia "Munstead"
Lavandula Dutch
Lavandula stoechas pedunculata
Lavatera olbia rosea
Ligustrum lucidum
Ligustrum obtusifolium regelianum
Lonicera nitida
Olearia (gélif)
Perovskia

Phillyrea angustifolia
Phlomes fructicosa
Pittosporum tobira
Prunus pumila depressa
Prunus lusitanica
Rhamnus alaternus
Rosmarinus officinalis "Corsican blue"
Salix repens argentea
Sambucus sp.
Santoline
Senecio laxifolius
Spartium junceum
Symphorine sp.
Tamarix sp.
Teucrium fruticans
Yucca

Arbres de haut-jet :

Cupressus
Cupressocyparis
Fraxinus
Pinus pinea
Pinus halepensis
Pyrus
Quercus ilex

Visite n° 2 : Préverdissement "Rue de la Sole" - Quartier des Minimes

Sol : texture argileuse lourde
pH = 7,8 à 8,5
salinité : 2,0 à 2,3 en surface
3 à 1 mètre de profondeur

Gamme végétale :

Modalité A

Arbustifs bas :

Euonymus "Red cascada"
Lycium chinensis "Cornosum"
Rosa nitida
Rosa rubrifolia
Salix rosmarinifolia
Symphorina "Matharof pearl"

Arbustifs hauts :

Eleagnus angustifolia
Tamarix p. "Pink cascada"

Arbres en cépée :

Cercis siliquastrum
Fraxinus ornus
Malus C. "Courtarou"
Malus "Van esaltina"
Populus alba "Nivea"
Prunus padus
Salix alba "sericea"

Arbres de haut-jet :

Alnus cordata
Cupressus macrocarpa "Lutea" et "Gold crest"
Fraxinus oxycarpa
Gleditsia triacanthos "inermis"
Pinus radiata

Modalité B

Arbustifs bas :

Cortaderia "giganteum" ou "rendatleri"
Lavatera olbia rosea
Rosa nitida et rubrifolia
Sambucus nigra
Spartium junceum

Arbustifs hauts :

Cornus mas
Hippophae rhamnoïdes
Tamarix p. "Pink cascada"

Arbres en cépée :

Cercis siliquastrum
Malus x Everest
Populus candicans "aurora"
Populus simonii "obtusa"
Platanus orientalis "digitata"

Arbres de haut-jet :

Alnus cordata
Fraxinus p. "Zondert"
Gleditsia triacanthos "inermis"
Populus c. "Molfort"

Modalité C

Lavatera olbia "Rosea"
Lycium chinensis "Carnosum"
Rosa nitida
Salix purpurea gracilis
Salix rosmarinifolia
Spartium junceum

ADRESSES UTILES

INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE AGRONOMIQUE (I.N.R.A.)

147 rue de l'Université 75341 Paris cedex 07
T. (1)42.75.90.00

Etablissement public national à caractère scientifique et technologique placé sous la tutelle du Ministre chargé de la Recherche de l'Enseignement Supérieur et du Ministre de l'Agriculture, l'INRA peut aussi effectuer des expertises scientifiques.

SERVICES REGIONAUX DE LA PROTECTION DES VEGETAUX (S.R.P.V.)

Le service régional de la protection des végétaux a pour mission la mise en oeuvre des mesures réglementaires de surveillance et de protection phytosanitaire, l'amélioration de la salubrité des produits végétaux et la valorisation de leur qualité, la diffusion des connaissances en matière de protection des végétaux. A ce titre, il est chargé des contrôles et de la surveillance sanitaire des végétaux et de la diffusion des avertissements agricoles, de l'expérimentation et du contrôle des produits phytosanitaires et de l'amélioration des méthodes de lutte contre les ennemis biologiques, chimiques et naturels des cultures.

Aquitaine : Chemin d'Artigues, 33 150 Cenon
T. 56.86.22.75

Bretagne : 280, route de Fougères, 35000 Rennes
T.99.36.01.74

Languedoc-Roussillon : Maison de l'Agriculture, bât. 5, place Chaptal, 34076 Montpellier Cedex
T.67.92.41.42

Nord - Pas-de-Calais : Cité Administrative, 59048 Lille Cedex
T.20.52.72.80

Basse-Normandie : 69, rue Marie Curie, 14200 Herouville-St-Clair
T.35.70.09.09

Pays de la Loire : 10 rue le Nôtre, 490440 Angers Cedex
T. 41.36.16.55

Provence Alpes Côte d'Azur : 24 rue Edouard Delanglade, 13006 Marseille
T. 91.37.24.13

Poitou Charentes : "la fenêtre-Nord", 13 route de la forêt, Biard, 86000 Poitiers
T; 49.58.39.02 et 49.41.47.56

OFFICE NATIONAL DES FORETS (O.N.F.)

2, avenue de St Mandé 75012 Paris
T.(1).43.46.11.68

Etablissement public national à caractère industriel et commercial.
Il est chargé de la gestion et de l'équipement des forêts domaniales et de la mise en oeuvre du régime forestier dans les bois, forêts et terrains appartenant aux collectivités locales.
Il peut être chargé, par conventions passées avec l'Etat, les collectivités publiques ou des particuliers, d'opérations de gestion, d'études, d'enquêtes et de travaux.

DIRECTIONS DEPARTEMENTALES DE L'AGRICULTURE ET DE LA FORET (DDAF)

C'est un service extérieur du ministère de l'Agriculture dans le département. Elle est chargée d'appliquer les mesures des politiques agricoles, forestières et rurales mises en oeuvre par le Ministère de l'Agriculture. Ses attributions portent, entre autres sur :
- la forêt et le bois
- la santé et la protection végétales
- l'appui technique aux collectivités locales, pour l'exercice de leur compétence
- l'application de la politique de filière de la forêt et du bois.

La Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt est un des services extérieurs du ministère chargé de l'Environnement avec des attributions dans le domaine de :
- la protection de la nature
- la gestion et l'aménagement des eaux,
- la lutte contre les pollutions et les nuisances,
- l'organisation et l'exercice de la chasse et de la pêche,
- l'inspection des établissements classés pour la protection de l'environnement.

INSTITUT POUR LE DEVELOPPEMENT FORESTIER (IDF)

Maison de l'Agriculture, 22 avenue Janvier, 35042 Rennes cedex
T.99.29.58.86

L'IDF est un institut technique national reconnu d'utilité publique, au service des milieux sylvicoles. Il possède une cellule spécialisée dans l'arbre hors forêt et peut intervenir en conseil, assistance technique et formation sur tous les domaines liés à la mise en oeuvre, la gestion des plantations ornementales.

LE DEPARTEMENT DE LA SANTE DES FORETS (DSF)

1ter avenue de Lowendal 75007 Paris
T.(1)49.55.51.91

LE CONSERVATOIRE DE L'ESPACE LITTORAL ET DES RIVAGES LACUSTRES

Etablissement public créé en 1975, il est doté de de l'autonomie financière et il mène une politique d'acquisition foncière afin d'assurer la sauvegarde, la protection et la gestion d'espaces

littoraux ou riverains de grands lacs menacés plus particulièrement par l'urbanisation. Il peut à cet effet utiliser son droit de préemption ou en cas de nécéssité une procédure d'expropriation.

72, rue Régnault, 75013 Paris
T.(1)45.70.74.75

CEMAGREF

2, rue de la Papeterie, BP 76, 38402 St Martin d'Heres Cedex
T.76.76.27.27

DIRECTIONS REGIONALES DE L'EQUIPEMENT

AQUITAINE	7-9 rue Charles-Monselet 33080 BORDEAUX CEDEX	Tél. : (16) 56 24 00 55 Télex : 540 806 Télécopie : 56 98 68 20
BRETAGNE	5 boulevard René Laënnec 35065 RENNES CEDEX	Tél. : (16) 99 29 66 66 Télex : 741 253 Télécopie : 99 65 56 22
CENTRE	12 Place de l'Etape B.P. 2413 45032 ORLEANS CEDEX	Tél. : (16) 38 79 43 21 Télex : 780 598 Télécopie : 38 79 43 38
CORSE	3 rue des Trois Maries B.P. 416 20307 AJJACCIO CEDEX	Tél. : (16) 95 21 05 25 Télex : 460 396 Télécopie : 95 21 28 72
LANGUEDOC-ROUSSILLON	520 allée Henri II de Montmorency 34064 MONTPELLIER CEDEX	Tél. : (16) 67 69 77 00 Télex : 480 505 Télécopie : 67 69 77 31
MIDI-PYRENEES	Cité Administrative B.D Armand Duportal 31074 TOULOUSE CEDEX	Tél. : (16) 61 58 58 58 Télex : 521 084 Télécopie : 61 23 99 21
NORD-PAS-DE-CALAIS	4 rue de Bruxelles B.P. 259 59019 LILLE CEDEX	Tél. : (16) 20 49 60 00 Télex : 131 570 Télécopie : 20 53 14 24

BASSE-NORMANDIE	Rue des Terrasses B.P. 264 14006 CAEN CEDEX	Tél. : (16) 31 86 02 84 Télex : 171 867 Télécopie : 31 79 05 18
HAUTE-NORMANDIE	Cité Administrative St-Sever 2rue Saint-Sever 76032 ROUEN CEDEX	Tél. : (16) 35 58 52 79 Télex : 770 775 Télécopie : 35 58 53 09
PAYS-DE-LA-LOIRE	B.P. 2169 44201 NANTES CEDEX 02	Tél. : (16) 40 20 20 49 Télex : 710 762 Télécopie : 40 08 07 03
PICARDIE	56 rue Jules Barni 80040 AMIENS CEDEX	Tél. : (16) 22 92 09 81 Télex : 145 039 Télécopie : 22 91 73 77
POITOU-CHARENTES	19 rue Saint-Louis B.P. 81 86021 POITIERS CEDEX	Tél. : (16) 49 01 77 10 Télex : 791 481 Télécopie : 49 55 12 10
PROVENCE-ALPES-COTE-D'AZUR	37 boulevard Périer 13285 MARSEILLE CEDEX 08	Tél. : (16) 91 53 82 00 Télex : 400 495 Télécopie : 91 53 82 20

BIBLIOGRAPHIE

ALLAG-DHUISME F., et LE DAIN A-Y, 1896.- Les dunes du Golfe du Lion. Aménagement et Gestion. Ministère de l'Environnement, Délégation à la Qualité de la Vie. 124 p.

AUGE P., ALLEMAND P., et HAMES, 1973.- Les arbres et arbrisseaux acclimatés en région méditerranéenne française.INRA publ.n°73-3, 144pp.

BONNEAU M., 1976.- Cours de pédologie forestière. 2ème partie, Chapitre V. Appréciation de la fertilité du sol, éléments autres que l'azote : P, K, Ca, Mg, oligo-éléments, phénomènes de toxicité. CNRF, INRA NANCY.

BONNEAU M. 1969.- Dépérissement du Pin maritime, commentaire des analyses de sols et des analyses foliaires.. Doc. Interne, INRA Nancy.

BOURRELY M., et CHEREL O., 1985.- Impact des embruns sur la végétation littorale de l'île de Port Cros. Rapport interne au Parc National de Port Cros. Hyères. Var. Fr.

BOYCE S.G., 1954.- The salt spray community. Ecological Monographs, 24, N°1, 26-67.

CLAUSER F., GELLINI R., BUSSOTTI F., CENNI E., and BOTTACCI A., 1989.-New types of damage to forest trees typical of the Mediterranean region. Eur.J.For.Path., 19, 78-83.

CLAUSTRES G., et LEMOINE C..- Connaître et reconnaître la flore et la végétation des côtes Manches-Atlantique. Editions Ouest-France, 331p.

CROCI D., 1989.- Le végétal et le sel. Lien Horticole, 41, 5-11.

CROUZET A., et RESCH F., 1987.- Embruns marins pollués. Etat de l'art et bibliographie. GIS Posidonie.

DEVEZE L., et SIGOILLOT J.Cl., 1978.- Les arbres malades de la mer. Eau Amménagement, 19, 13-24.

DOWDEN HG.M., LAMBERT M. J.,and TRUMAN R., 1978.- Salinity damage to Norfolk Island pines caused by surfactants. II. Effects of sea water and surfactant mixtures on the health of whole plants. Aust. J. Plant Physiol., 5, 387-395.

DOWDEN H.G.M., and LAMBERT M. J., 1979.- Environmental factors associated with a disorder affecting tree species on the coast of New South Wales with particular reference to Norfolk Island pines Araucaria heterophylla. Environ. Pollut., 19, 71-84.

DSF, 1989. Fiches phytosanitaires

DUBREUIL J.P-L., 1984.-Les dunes de Bretagne, aménagement et gestion. Ministère de l'Environnement Délégation à la Qualité de la Vie, 96 p.

DUVAL J., 1986.-Aménagement et gestion des dunes du Nord de la France.Ministère de l'Environnement, Délégation à la Qualité de la Vie.60 p.

ENITA et INRA 1989. Dépérissement du pin maritime sur la côte vendéenne. Pathologie et entomologie. Compte-rendu intermédiaire. Laboratoire de pathologie (ENITA) et laboratoire d'entomologie (INRA)

Faculté de St Jérôme, Laboratoire de Microbiologie, 1980.- Rapport d'Activité. Commission Communautés Européennes.

FONTANA M., 1976.-an aspect of coastal pollution-the combined effect of detergent and oil at sea on sea spray composition. Water, Air, and Soil Pollution, 5, 269-280.

FUSTEC-MATHON E., 1970. Contribution à l'étude écologique des milieux dunaires sur le littoral atlantique du Centre-Ouest de la France. Thèse de la Faculté des Sciences de l'Université de Poitiers.

GÄRTNER E., 1985.- La Méditerranée dans un sale état. Science et Vie, 815, 14-23

GELLINI R., PANTANI F., GROSSONI P., BUSSOTTI F., BARBOLANI E., and RINALLO C., 1985.- Further investigation on the causes of disorder of the coastal vegetation in the park of San Rossore (central Italy). European Journal of Forest Pathology, 15, 145-157.

GELLINI R., PANTANI F., GROSSONI P., BUSSOTTI F., BARBOLANI E., and RINALLO C., 1983.-Survey of the deterioration of the coastal vegetation of San Rossore in central Italy. Eur.J.For.Path., 13, 296-304.

GRIEVE A.M., and PITMAN M.G., 1978. Salinity damage to Norfolk Island pines caused by surfactants. III. Evidence for stomatal penetration as the pathway of salt entry to leaves. Aust. J. Plant Physiol., 5, 397-413.

GRIEVE A.M., and PITMAN M.G., 1976.- The condition of Norfolk Island pines on the Adelaide beachfront. Search, vol. 7, N° 6, 275-276.

GUETTIER P., GENEVOIS E., BOUCHEZ S., et MERTENS D., 1990a. - L'assainissement en France : Etat des lieux. Conférence de Presse, Surveillance et protection de la qualité des eaux de baignade 28 juin 1990. Cahier 2. Secretariat d'Etat auprès du premier Ministre chargé de l'Environnement et de la prévention des risques technologiques et naturels majeurs.31p.

GUETTIER P., GENEVOIS E., BOUCHEZ S., et MERTENS D., 1990b. - L'assainissement en France : Politique du Secrétariat d'Etat chargé de l'environnement en matière d'assainissement des collectivités locales. Conférence de Presse, Surveillance et protection de la qualité des eaux de baignade 28 juin 1990. Cahier 2. Secretariat d'Etat auprès du premier Ministre chargé

de l'Environnement et de la prévention des risques technologiques et naturels majeurs.25p.

GUIDE DE LA NATURE EN FRANCE, 1979.- La mer et les côtes, ed. Bordas, 71-83.

GUILLEMOT J., 1990.- Le long des golfes...clairs. Sciences et Avenir, 78, 93-96.

GUINAUDEAU, 1987.- Planter aujourd'hui, batir demain, le préverdissement, IDF, 480p.

GUYON J.P., 1980.- Variabilité géographique et écophysiologique du Pin maritime. Mémoire E.N.I.T.E.F.

IDF, 1981.- La réalisation pratique des haies brise-vent et bandes boisées.

IFREMER, 1988.- Surveillance du milieu marin. Travaux RNO.35pp

INRA 1989. Dépérissement du pin maritime en Vendée. Reconnaissance de l'état sanitaire des peuplements en septembre 1988 à partir de photographies aériennes. Représentation parcellaire au 1/5000è. Laboratoire de bioclimatologie. Télédétection. Pierroton (33)

INRA 1989. Etat sanitaire des peuplements et écologie du dépérissement. Apport de la télédétection. Compte-rendu intermédiaire. Laboratoire de bioclimatologie. Télédétection. Pierroton (33)

JENNINGS D. H., 1976.-The effects of sodium chloride on higher plants. Biol. Rev., 51, 453-486.

LANDMANN G., 1988.- Dépérissement du pin maritime en forêt domaniale de Noirmoutier. Commentaires des analyses de sols et des analyses foliaires. Rapport interne Station de Recherches sur les Sols Forestiers et la Fertilisation. INRA Nancy

LAUMAILLE C., 1990. Dépérissement du pin maritime en Vendée. Etude dendrochronologique. Rapport de fin d'études à l'IUT de Vannes.

LAVAGNE A., 1990.- Impact des aérosols marins pollués sur la végétation littorale de la rade d'Hyères - Premiers constats.Travaux scientifiques, Parc National de Port Cros, sous presse.

Lettre des Tecniques municipales, 15 décembre 1989, N° 232

LIEUTIER F., 1988.- Diagnostic des attaques de scolytes. Revue Forestière Française, XL,n° sp. 124-130.

MAGNIN H., 1990. Dépérissement du Pin maritime sur le littoral vendéen. Mémoire de 3ème année ENITEF.

MARCHAND M., 1989.- Les produits phytosanitaires agricoles et la qualité des eaux marines littorales. H.G.H.T.M. T.S.M., IFREMER, 11p.

MELI C., et RESCH F., 1990.- Embruns marins pollués (synthèse bibliographique). Laboratoire d'Océanographie Physique de Toulon. Université de Toulon.

MOODIE G.E., STEWART R.S., and BOWEN S.E., 1986.- The impact of surfactants on Norfolk Island Pines Along Sydney Coastal Beaches since 1973. Environ. Pollut. Series A, 41, 153-164.

NGUYEN A., and LAMANT A., 1989a.- Variation in growth and osmotic regulation of roots of water-stressed maritime pine (Pinus pinaster Ait.) provenances. Tree Physiology, 5, 123-133.

NGUYEN A., and LAMANT A., 1989b.- Effect of water stress on potassium distribution in young seedlings of maritime pine (Pinus pinaster Ait.). Ann. Sci. For., 46 suppl., 379s-383s

ONF Département des recherches techniques. Interrégion Ouest.1988. Dépérissement du pin maritime sur la côte vendéenne. Réseau de placettes de surveillance. Document de travail.

ONF Département des recherches techniques interrégion Ouest. 1989a. Ecologie du dépérissement du pin maritime sur la côte vendéenne. Rapport intermédiaire sur les recherches effectuées.

ONF Département des recherches techniques. Interrégion Ouest. 1989b. Les plantations comparatives d'espèces forestières. Bilan après 5 années de végétation.

ONF. Département des recherches techniques. Fertilisation d'une plantation en forêt domaniale de Noirmoutier. 1989c

OOSTING H.J., 1945.-Tolerance to salt spray of plants of coastal dunes. Ecology, 26, N°1, 85-89.

OZENDA P., 1982.- Les végétaux dans la biosphère.431p

PASKOFF R., 1989a.-Evolution des espaces littoraux et problèmes d'aménagement. XYZ, Revue de l'Association Française de Topographie, 38, 7-13.

PASKOFF R., 1989b.- Les dunes du littoral. La Recherche, vol. 20, n°212, 888-895.

PASKOFF R., 1987.- Les variations du niveau de la mer. La Recherche, vol. 18, N°191, 1010-1019.

PEULON V., 1988.- Le dépérissement des arbres en ville. Ministère de l'Equipement, Service Technique de l'Urbanisme.61p.

PINON J., 1986.- La maladie des ormes. U.R.V.N., Vie, Nature, Environnement, 35, 17-19.

PITMAN M.G., DOWDEN H.G.M., HUMPHREYS F.R., LAMBERT M., GRIEVE A.M., and SCHELTEMA J.H., 1977.- The outfall connection. The

flight of our coastal trees. Aust. Nat. Hist., vol. 19, N°3, 74-81.

PONCHET J., 1986. Le dépérissement du cyprès. U.R.V.N. Vie, Nature, Environnement, 35, 11-12.

PYYKKÖ M., 1977.-Effects of salt spray on growth and development of Pinus sylvestris L.. Ann. Bot. Fennici, 14, 49-61.

QUELENNEC R.E., 1989.-Inventaire des problèmes d'érosion côtières dans les pays de la Communauté Européenne. XYZ, Revue de l'Association Française de Topographie, 38, 29-32.

TRUMAN R., and LAMBERT M.J., 1978. - Salinity damage to Norfolk Island pines caused by surfactants. I. The nature of the problem and effect of potassium, sodium and chloride concentration on uptake by roots. Aust. J. Plant Physiol., 5, 377-385.

SCHVESTER D., 1985.- Les insectes et la forêts française. Revue Forestière Française, XXXVII, n° sp., 45-64.

Secretariat d'Etat à l'Environnement, 1983.- Assainissement en zone littorale. Cahiers Techniques de la Direction de la Prévention des Pollutions, 11, 92pp.

TURPAUD Y., 1986.- Technique de fixation des digues construites sur la façade atlantique. Marais de Brouage (Charentes Maritimes). P.H.M. Revue Horticole, 266, 41-46.

WELLS B. W., and SHUNK I.V., 1938.- Salt spray : an important factor in coastal ecology. Bull. Torrey Bot., 65, 485-493.

MFN 225