

arbres du littoral arbres en péril ?

deux exemples de dépérissement des arbres en bordure du littoral français

par **Linda Stammitti et Jean-Pierre Garrec**

INRA, centre de Recherches forestières de Nancy, laboratoire d'étude de la Pollution atmosphérique, 54280 Champenoux

Cette présentation de dépérissements des arbres en bordure du littoral fait partie d'un travail de bibliographie et d'enquête mené pour le compte du Service technique de l'urbanisme (ministère de l'Équipement, C. Deschamps coordinateur) et publié en janvier 1992. (Stammitti L., 1992)

1. Introduction

Le littoral français est le plus étendu d'Europe (5 500 km de côtes, voire 7 200 km si on compte toutes les anfractuosités), et il possède des ouvertures sur trois mers : Manche, Atlantique, et Méditerranée. C'est un milieu particulier caractérisé par un vent violent, un sol salin, des embruns... Ces particularités représentent 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 de réelles limites à l'introduction d'autres végétaux.

Outre ces situations écologiques contraignantes où les facteurs limitants jouent un rôle important, la végétation subit également des agressions en relation avec la pollution des milieux naturels.

En effet, les eaux littorales sont le lieu de 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). L'urbanisation sur le littoral français est marquée par l'envol spectaculaire du tourisme balnéaire et nautique qui 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'accueil, qui à notre époque sont représentées 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 13 000 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.

Les problèmes de pollution posés par cette urbanisation massive et souvent anarchique du littoral sont graves. En effet selon l'Association nationale des élus du littoral (ANEL) :

- le taux de dépollution brute des agglomérations n'est que de 35% ;
- la moitié seulement des égouts du littoral est raccordée 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 décembre 1989).

Ces agressions peuvent remettre en cause, en certains endroits, les aménagements littoraux et la végétation implantée ou existante en massif forestier.

Aussi ces dernières années, le dépérissement des arbres en bordure du littoral connaît une évolution préoccupante, car il touche indifféremment les arbres adaptés et ceux introduits. Cette situation revêt un caractère d'autant plus sérieux que l'espace littoral représente un enjeu important, et qu'il occupe dans notre pays une place prédominante.

En France, deux grandes zones littorales sont concernées par un dépérissement des arbres, lesquelles se distinguent par l'étendue et les causes de ce phénomène : l'un en région méditerranéenne et l'autre sur la côte atlantique.

2. Le littoral méditerranéen

Sur le littoral méditerranéen, le dépérissement est principalement localisé dans la région sud-sud-ouest des Bouches-du-Rhône, et dans le Var dans le canton du Dramont, les îles d'Hyères (Port-Cros, Porquerolles). Ce dépérissement est ancien et il est signalé depuis 1966-1968 (Devèze, Sigoillot, 1978). Les végétaux halophiles et halorésistants sont également atteints, et les dommages ne se manifestent pas seulement par des morphoses, mais aussi par des nécroses aboutissant à la mort de l'arbre. Le sel ne peut donc pas être le seul responsable.

Les symptômes observés sont similaires à ceux occasionnés par les embruns salés mais l'issue est différente. 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, 1977). Les effets des embruns salés sont plus apparents après de fortes tempêtes.

Ce dépérissement est attribué aux embruns marins pollués. En effet, différentes équipes : australiennes (Dowden et Lambert), italiennes (Grossoni, Bussoti, et Gellini), et françaises (Sigoillot, Devèze) ont montré l'action synergique dans les aérosols du sel marin et de certains polluants : hydrocarbures, métaux lourds, et notamment l'action prépondérante des tensio-actifs anioniques ou détergents qui facilitent la pénétration du sel dans les feuilles.

Ce type de dépérissement des arbres est constaté dans d'autres régions du monde. Ce phénomène est signalé depuis les années soixante :

- en Australie (côtes de la Nouvelle Galles du Sud), où les araucarias (*Araucaria heterophylla*) plantés à la fin du XIX^e siècle, et forts de leurs 35 m, ont complètement disparu, surtout au niveau des zones urbaines de la côte, dont celle de 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.

2.1. Symptomatologie du dépérissement

Ce type de dépérissement des arbres 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, consécutivement à une défoliation complète qui ne permet donc plus d'alimenter en photosynthétats l'arbre et peut entraîner sa mort. (Meli et Resch, 1990)

La sensibilité des arbres aux aérosols pollués varie dans le temps. Les dommages sont maximaux lorsque les arbres sont dans un état de grande réceptivité (arbres en période végétative) en même temps qu'une arrivée massive d'aérosols pollués (tempêtes) (Lavagne, 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. Le cheminement des embruns

Des phytosociologues (Bourrely, et Chérel, 1985 ; Lavagne, 1990) 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 - premiers 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.

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* ») ;
- à longue distance (à 100 ou 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.

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.

2.3. La composition et la formation des aérosols

Ces aérosols arrivant sur les arbres peuvent être d'origine atmosphérique, ou marine. Dans le premier cas, ils contiennent des poussières, du fluor, des oxydes de soufre, des hydrocarbures polycycliques aromatiques (HPA), des produits pétroliers lourds oxydés, qui proviennent des activités terrestres (notamment des industries pétrolières et autres ainsi que de la 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 fioul, 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 surféquentation 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, entraînées par le mouvement des eaux. 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, 1987).

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

2.4. Les effets des polluants sur les arbres

a) Les détergents

Les principales sources de détergents sont les rejets des eaux usées d'origine industrielle et ménagère (produits lessiviels) qui ne sont pas ou peu traités.

Les détergents sont des composés lipophiles et ils ont une faible tension de surface. Par cette propriété, un plus grand nombre de bulles (origine des embruns), sera formé avec le même volume d'air suite à une surface de formation des gouttes plus grande. De ce fait, les détergents augmentent le transfert des embruns vers l'atmosphère.

Au niveau de l'arbre, 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 en 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 aux 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 la 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 la perméabilité cuticulaire va permettre d'accroître les échanges avec l'atmosphère et outre l'entrée du sel et d'autres composés toxiques comme les surfactants, il y aura des pertes d'eau non négligeables (augmentation de la transpiration cuticulaire).

Les surfactants agissent également en solubilisant la partie lipidique des membranes (plasmalemmiques, plastidiales, vacuolaires), ce qui entraîne une perturbation des échanges membranaires, et 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.*, 1978 ; Moodie *et al.*, 1986).

b) Les hydrocarbures

Quant aux hydrocarbures, ils sont apportés en mer par le trafic maritime et les industries liées au pétrole. Ils représentent 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. Transportés par les embruns, ils se concentrent par la suite au niveau de la cuticule de la feuille, dont la structure peut être altérée par certains d'entre eux.

Les effets toxiques de différents composants d'un fioul lourd (hexadécane, phénanthrène, et naphtalène) ont été 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 ; 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 fioul à 1 % dans l'eau de mer).

Après leur pénétration, facilitée par les détergents, les hydrocarbures circulent par les faisceaux libéro-ligneux de l'arbre et s'accumulent dans les parties méristématiques. Les expériences sur les calcs de *Psoralea bituminosa* ont montré l'existence d'une synergie entre les hydrocarbures et les détergents.

Il apparaît donc que c'est la présence, dans les aérosols, des détergents et des hydrocarbures qui permettrait au sel et à ces substances toxiques de franchir la barrière cuticulaire et d'agir. Cet impact des détergents sur la végétation fait actuellement l'objet de recherches au Laboratoire d'étude de la pollution atmosphérique (INRA Nancy), où l'on étudie les mécanismes à l'origine des modifications de la structure et de la composition chimique des cires cuticulaires, et des conséquences sur la perméabilité des cuticules de différentes substances.

3. La côte atlantique

Sur ce littoral, le dépérissement n'est pas dû à des embruns marins pollués, et il concerne essentiellement le Pin maritime sur près de 5 000 ha de forêt domaniale. 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.

Les premiers signes de dépérissement ont été signalés dès 1929. Depuis 1983-1984 le phénomène s'est accéléré. Les arbres les plus touchés sont :

- localisés en bordure des peuplements face à la mer, en bordure de route, ou en lisière ;
- en peuplement dense ;
- moyennement âgés (entre 40 et 60 ans) ;
- d'origine ibérique (en effet, les pins maritimes constituant les peuplements initiaux sont de provenances génétiques différentes, landaises et ibériques).

Le dépérissement se traduit par un jaunissement des aiguilles, puis par un dessèchement complet de la cime et la mort de l'arbre de 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 (2 300 ha) et de Noirmoutier (400 ha) à l'exception du bois de la Chaize. Ces forêts sont touchées sur plus de 20% de leur surface.

Ces recherches ont pour but d'établir une 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, et en collaboration avec des laboratoires de l'INRA (Téledétection, Entomologie à Cestas), et de l'Ecole nationale des ingénieurs des travaux agricoles (ENITA) pour ce qui est de la Pathologie.

Ces études révèlent qu'un arbre sur deux est touché par le dépérissement (sur les 5 000 ha), dont 25% de façon irréversible (Guyon *et al.*, 1992).

L'étude dendrochronologique à partir de prélèvements réalisés sur des arbres actuellement dépérissants et sur 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 la génération précédente. Les Pins laricio de Corse qui ne sont pas touchés 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).



3.1. Des conditions stationnelles difficiles : un facteur prédisposant

Les analyses de sol des peuplements dépérissants montrent une teneur en calcaire total élevée et en calcaire actif faible, ainsi que des teneurs en phosphore assimilable, et en potassium échangeable faibles à très faibles. Par contre, le magnésium et le sodium sont en quantités importantes, de même que le fer assimilable. Le pH de ces sols est élevé : 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). Les analyses foliaires montrent que les arbres malades contiennent plus de sodium que les arbres sains.

La nocivité du sodium a été démontré in situ par l'observation de nécroses racinaires chez les arbres adultes (Magnin, 1990), et par des essais en laboratoire.

Ces travaux réalisés à la station de Recherches forestières de l'INRA de Bordeaux (1993), portent sur trois provenances de Pin maritime : ibérique, landaise, et marocaine (Tamjoute), et sur deux types de sol : sur sols forestiers, provenant des Pays de Monts et de l'île d'Oléron, et en solution nutritive. Il ressort de cette étude, qu'en milieu nutritif non limitant, la sensibilité au NaCl est plus importante pour les ibériques comparativement aux landais, avec un taux de croissance plus élevé pour ces derniers. Sur sols forestiers, caractérisés par un pH très élevé et de fortes teneurs en calcium et sodium, les pins présentent des symptômes similaires à ceux observés sur le terrain, les ibériques étant les plus sensibles.

Le sodium peut se présenter dans le sol sous la forme de sel de chlorure ou de sel de carbonate. Lors de fortes pluies, qui semblent le facteur déclenchant de ce phénomène de dépérissement, le sodium est libéré dans le sol, ce qui a pour effet d'augmenter la pression osmotique du sol (diminution du potentiel hydrique du sol). L'eau devient difficile d'accès pour la plante, qui se trouve alors dans une situation de stress hydrique.

Suite à ce déficit hydrique, la croissance de la plante est inhibée, celle-ci étant plus importante au niveau des parties aériennes qu'au niveau des parties racinaires.

Pour le végétal, un des moyen de s'adapter à ce stress hydrique est d'augmenter sa pression osmotique intracellulaire, en augmentant 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 et Lamant (1989a).

Par ailleurs, ces mêmes auteurs (Nguyen et Lamant, 1989b) ont montré que les différentes provenances de Pins maritime 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.

3.2. Les moyens de lutte

Suite à ces études, 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 contre le 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 seulement de les faire tenir jusqu'à ce qu'ils puissent être exploités (ONF, 1989c). Une autre façon de limiter à court terme ce dépérissement est de retirer les arbres morts ou malades en continu, ceci afin d'éviter la propagation des maladies qui l'accompagnent (ONF, 1989b).

D'autre part, des essais d'introduction d'espèces feuillues et résineuses dans les sables calcaires du-naires de la côte vendéenne ont été réalisés en 1984 par l'ONF, avec pour 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 ait été observé sur l'île de Ré ;
- le Chêne vert (*Quercus ilex*) ;

- des Cyprès (*C. macrocarpa*, *C. sempervirens*, *C. arizonica*) ;
- l'Erable plane (*Acer platanus*) ;
- l'Aulne à feuille en coeur (*Alnus cordata*) ;
- le Tilleul à feuille en coeur (*Tilia cordata*) ;
- le Peuplier blanc (*Populus alba*) ;
- le Robinier (*Robinia pseudoacacia*).

4. Conclusions

Il est important de souligner que le dépérissement des arbres en bordure du littoral n'est jamais 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, qui conduisent à un affaiblissement général de l'arbre, et éventuellement à sa mort.

En plus de tous ces facteurs « normaux » en milieu littoral, il en existe d'autres : les maladies, intervenant surtout quand les arbres sont très affaiblis, et maintenant 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 pollution (urbaines, agricoles, industrielles, maritimes).

En effet, l'urbanisation sans cesse croissante sur le littoral entraîne 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 dommageables pour le milieu marin, les activités de pêche, de conchyliculture, 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 ces 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.

Une autre menace, pas si lointaine, pour les forêts côtières, est l'élévation du niveau de la mer.

En effet, 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 CO₂ dans l'atmosphère, et provient de la fonte des glaciers en montagne, des grandes calottes glacières polaires de l'Antarctique et du Groenland et surtout de la dilatation des océans. Leur fonte complète aboutirait à une évaluation du niveau de la mer de 70 m (Paskoff, 1987).

L'augmentation de la teneur en CO₂ dans l'atmosphère est due à l'utilisation d'énergie fossile (charbon, pétrole, gaz), et à une déforestation sans cesse croissante en zone tropicale. Ce taux de CO₂ serait encore plus élevé si la mer n'en absorbait pas la moitié.

Actuellement la teneur en CO₂ est de 350 ppm, elle devrait doubler vers la moitié du siècle prochain.

L'augmentation de la température de la troposphère est le résultat de l'absorption par le CO₂ du rayonnement infrarouge émis par la surface de la Terre. Cet effet de serre provient également de la présence dans l'atmosphère d'autres gaz en augmentation, comme le méthane, l'oxyde nitreux, les chlorofluorocarbones et l'ozone troposphérique.

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

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, comme celui des écosystèmes forestiers présents le long du littoral ;
- un envahissement des plaines deltaïques subsidentes ;

La remontée du niveau 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 (1987), est le retrait progressif de l'homme dans les zones du littoral encore peu urbanisées, ainsi qu'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 inéluctable, dont il faut dès à présent tenir compte, et qui va à plus ou moins brève échéance perturber les forêts du littoral.

Enfin, il faut aussi signaler que cette augmentation de la température de l'atmosphère risque d'augmenter parallèlement la fréquence et la force des vents avec des conséquences particulièrement graves pour les arbres du bord de mer.

Références bibliographiques

- BONNEAUM. 1969. *Dépérissement du Pin maritime, commentaire des analyses de sols et des analyses foliaires*. Doc. interne, INRA Nancy.
- BOURRELY M., 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.
- CLAUSER F., GELLINI R., BUSSOTTI F., CENNI E., BOTTACCI A., 1989. New types of damage to forest trees typical of the Mediterranean region. *Eur. J. For. Pathol.*, 19, 78-83.
- CROUZETA., RESCHF., 1987. *Embruns marins pollués. Etat de l'art et bibliographie*. GIS Posidonie.
- DEVEZEL., SIGOILLOT J.C. 1978. Les arbres malades de la mer. *Eau Aménagement*, 19, 13-24.
- DOWDEN H.G.M., LAMBERT M. J., TRUMANR., 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., 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.
- FACULTÉ DE ST-JÉRÔME, Laboratoire de Microbiologie, 1980-Rapport d'Activité. Commission Communautés Européennes.
- GELLINI R., PANTANI F., GROSSONI P., BUSSOTTI F., BARBOLANI E., RINALLO C., 1985. Further investigation on the causes of disorder of the coastal vegetation in the park of San Rossore (central Italy). *Eur. J. For. Pathol.*, 15, 145-157.
- GELLINI R., PANTANI F., GROSSONI P., BUSSOTTI F., BARBOLANI E., RINALLO C., 1983. Survey of the deterioration of the coastal vegetation of San Rossore in central Italy. *Eur. J. For. Pathol.*, 13, 296-304.
- GRIEVE A.M., 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., PITMAN M.G., 1976. The condition of Norfolk Island pines on the Adélaïde beachfront. *Search*, 7(6), 275-276.
- GUILLEMOT J., 1990. Le long des golfes... clairs. *Sciences et Avenir*, 78, 93-96.
- GUYON J.P., GUYON D., RIOM J., 1992. Les écosystèmes forestiers littoraux: le cas du pin maritime du littoral nord atlantique. In G. LANDMANN : *Les recherches en France sur les écosystèmes forestiers*, ministère de l'Agriculture et de la Forêt, Paris, 107-108.
- INRA BORDEAUX, 1993. Station de Recherches Forestières. *Dépérissement du pin maritime en Vendée. Aspects écophysiologicals de la résistance au chlorure de sodium du sol de trois provenances géographique*. Document interne, 3 pp.

- LANDMAN 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 Techniques municipales*, 15 décembre 1989, n°232.
- MAGNIN H., 1990. *Dépérissement du Pin maritime sur le littoral vendéen*. Mémoire de 3^e année ENITEF.
- MELIC, RESCH F., 1990. *Embruns marins pollués* (synthèse bibliographique). Laboratoire d'Océanographie physique de Toulon. Université de Toulon.
- MOODIE G.E., STEWART R.S., BOWENS 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., LAMANTA., 1989a. Effect of water stress on potassium distribution in young seedlings of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *Ann. Sci. For.*, 46 (suppl.), 379-383.
- NGUYEN A., LAMANTA., 1989b. Variation in growth and osmotic regulation of roots of water-stressed maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) provenances. *Tree Physiology*, 5, 123-133.
- ONF, 1989a. Département des recherches techniques interrégion Ouest. *Ecologie du dépérissement du pin maritime sur la côte vendéenne*. Rapport intermédiaire sur les recherches effectuées.
- ONF, 1989b. Département des recherches techniques. Interrégion Ouest. *Les plantations comparatives d'espèces forestières. Bilan après 5 années de végétation*.
- ONF, 1989c. Département des recherches techniques. Fertilisation d'une plantation en forêt domaniale de Noirmoutier.
- PASKOFF R., 1987. Les variations du niveau de la mer. La Recherche, vol. 18, N 191, 1010-1019.
- PITMAN M.G., DOWDEN H.G.M., HUMPHREYS F.R., LAMBERT M., GRIEVEA M., SCHELTEMAJ.H., 1977. The outfall connection. The flight of our coastal trees. *Aust. NatHist.*, 19(3), 74-81.
- PYYKKÛM., 1977. Effects of salt spray on growth and development of *Pinus sylvestris* L.. *Ann. Bot. Fennici*, 14, 49-61.
- STAMMITTI L., 1992. *Le dépérissement de la végétation en bordure du littoral*. Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transport et de l'Espace, Service Technique de l'Urbanisme. 131 pp.
- TRUMANR., 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.

