

# IMPACT DES AÉROSOLS MARINS POLLUES SUR LA VÉGÉTATION LITTORALE DES CÔTES VAROISES. DONNÉES PRÉLIMINAIRES.

André LAVAGNE \*

*Résumé* : La détérioration de la végétation littorale des côtes varoises (France) peut être attribuée à une action synergique du sel marin et des détergents contenus dans les embruns (aérosols marins). L'auteur présente les programmes de recherche mis en œuvre par le Parc National de Port Cros et les premiers résultats relatifs à l'étude synchronique des dommages. Il précise comment les aérosols sont transportés avant d'atteindre la végétation ; il décrit la progression et l'ampleur des nécroses sur différentes espèces littorales et sur différentes phytocénoses, lisère du *Crithmo-staticetum*, zone à *Senecio cineraria* D.C. et *Helichrysum staechas* (L.) D.C., maquis à *Erica arborea* L. et *Pinus halepensis* Mill. Enfin, à partir de cotations en pourcentage, il situe dans l'ensemble de la rade d'Hyères les portions de côtes les plus atteintes, les moins atteintes et quelques unes encore indemnes.

*Abstract* : The deterioration of the coastal vegetation in Port Cros National Park and in the Hyères (Var, France) area can be ascribed to a synergic effect between marine salt and surfactants contained in sea sprays (aerosols). The author reports investigations'plannings undertaken by National Park and also his own first results about synchronic study of damages. He shows how aerosols are caried over the sea before reaching the shore ; he describes necrosis'extend and progress upon different coastal species and upon various phytocenosis, *Crithmo-staticetum* border, *Senecio cineraria* D.C. and *Helichrysum staechas* (L.) D.C. area, *Erica arborea* L. and *Pinus halepensis* Mill. shrubland ; then, starting from assessment in percent, he points in Hyères area the most damaged section of shore, the least damaged and some still unharmed parts.

## INTRODUCTION

L'action provoquée par les embruns salés sur la végétation littorale est connue de longue date. Cette action de l'eau de mer sur la végétation du rivage explique notamment les *zonations littorales terrestres* qui se succèdent au-dessus du niveau de la mer (zone nue sans végétation, ceinture halophile du *Crithmo-Staticetum*, ceinture halorésistante à *Senecio cineraria* D.C., *Bonjeania hirsuta* (L.) Rchb.,

*Anthyllis barba jovis* L., *Helichrysum staechas* (L.) D.C., supportant le sel mais pouvant vivre sans) et les formes prostrées "morphosées" que peuvent prendre les végétations terrestres non halophiles (maquis, garrigues, pinède à *Pinus halepensis* Mill., yeuseraie à *Quercus ilex* (L.) affectées par la présence des embruns salés et réagissant par un port particulier, "en drapeau", fuyant le sel.

Or, aux alentours de 1975, l'action des embruns sur la végétation littorale s'est brusquement accrue sans qu'on puisse en rendre responsables des conditions climatiques (tempêtes) particulières.

Les chimistes et les écotoxicologistes (DOWDEN et LAMBERT, 1978 ; DOWDEN et al., 1979 ; BUSSOTI et al., 1984 ; MORELLI, 1983 ; SIGOILLOT, 1982) ont eu le mérite de montrer l'action synergique dans les aérosols du sel marin et de certains polluants (hydrocarbures, métaux lourds, tensioactifs anioniques) et l'action prépondérante de ces derniers, tensioactifs, plus communément nommés *détergents*.

Deux phénomènes observés simultanément vers 1975 sont venus corroborer les conclusions des physiologistes :

1°/l'action des embruns atteint non seulement la zone halophile mais aussi la zone halo-résistante, *preuve qu'un facteur autre que le sel marin intervient*.

2°/l'action des embruns se manifeste non plus seulement par des morphoses, mais aussi *par des nécroses* (feuilles noircies, dessèchement précoce, rameaux inhibés ou avortés...) aboutissant à la mort du végétal.

Il nous a donc paru urgent de faire un bilan de cette nouvelle forme de pollution sur ce milieu très particulier et fragile qu'est le milieu littoral.

## PROBLEMATIQUE

**Découverte du phénomène et première approche du problème (1984-1986).**

Le mérite de la découverte des premières manifestations du phénomène revient à M. MANCHE, alors Directeur du Parc National. Sur sa suggestion, le Comité Scientifique du Parc a initié en 1984 et 1985 une étude exploratoire sur le territoire du Parc National (BOURRELLY et CHEREL, 1985). Ces travaux, basés sur des repérages photographiques réalisés en différentes saisons, ont permis de se rendre compte de l'ampleur du phénomène et de dresser un premier bilan des zones atteintes à cette époque.

La Fig. 1 en rend compte et permet de déceler dans le Parc

- 3 - la zone du "Sud" jusqu'à la pointe du Cognet
- 4 - la zone Est de l'île, des Pierres Cassées à la Pointe du Vaisseau

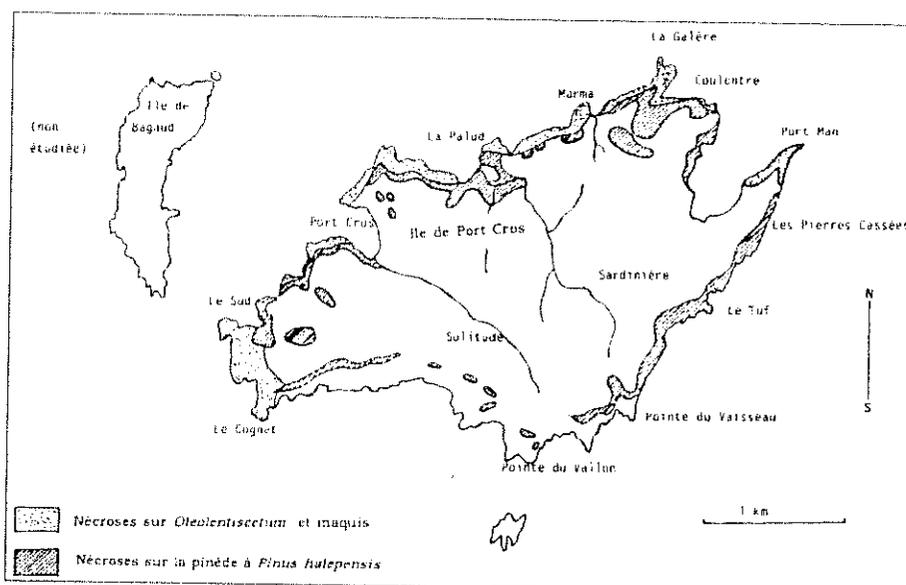


Fig. 1 - Etat des zones nécrosées sur l'île de Port Cros (BOURRELLY et CHEREL, 1985)

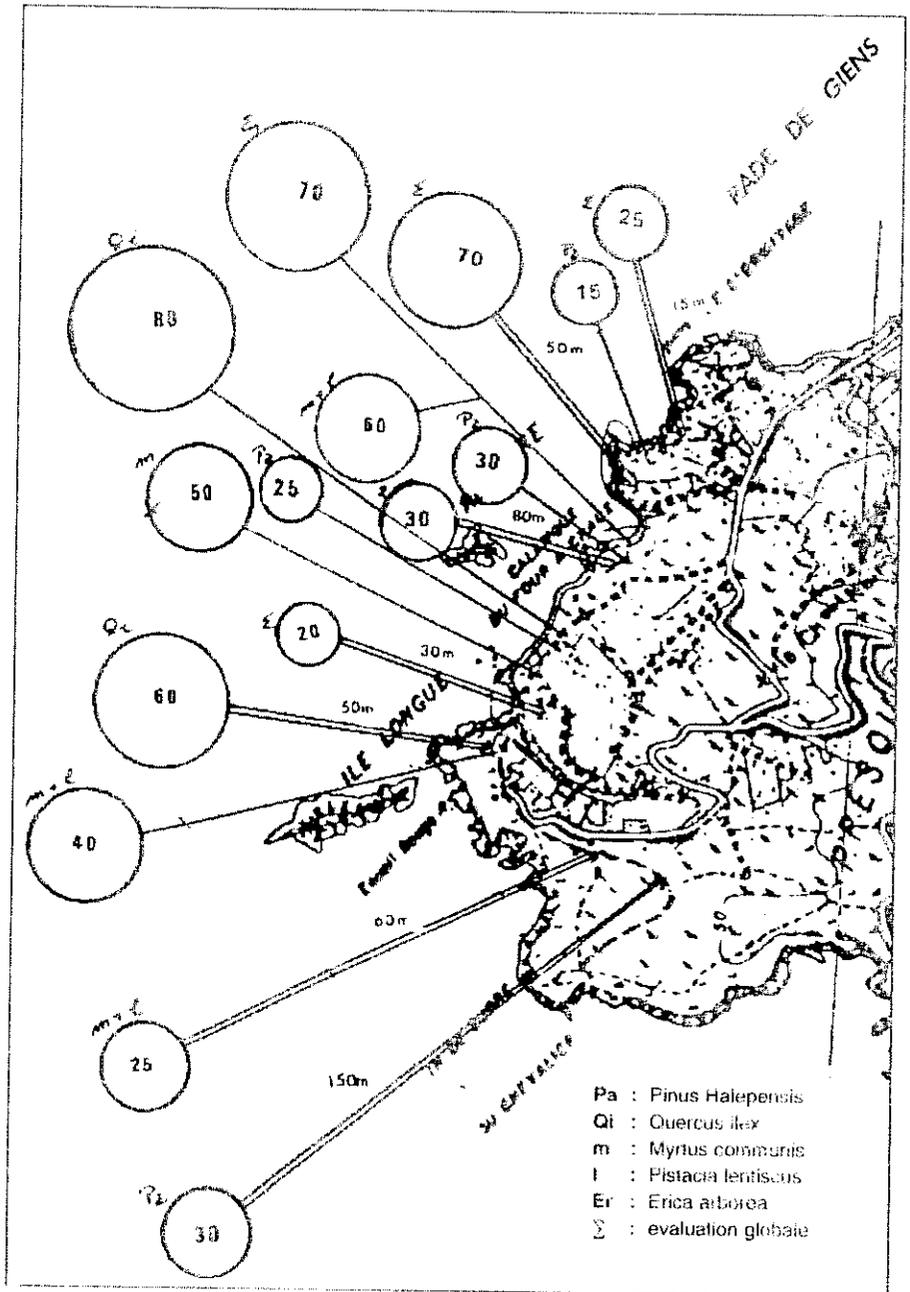
Grâce à une abondante iconographie (photos repères) et à une cotation à 3 degrés, les auteurs ont réalisé un document d'ensemble mettant en évidence la relation entre l'ampleur des nécroses et la projection plus ou moins grande des embruns.

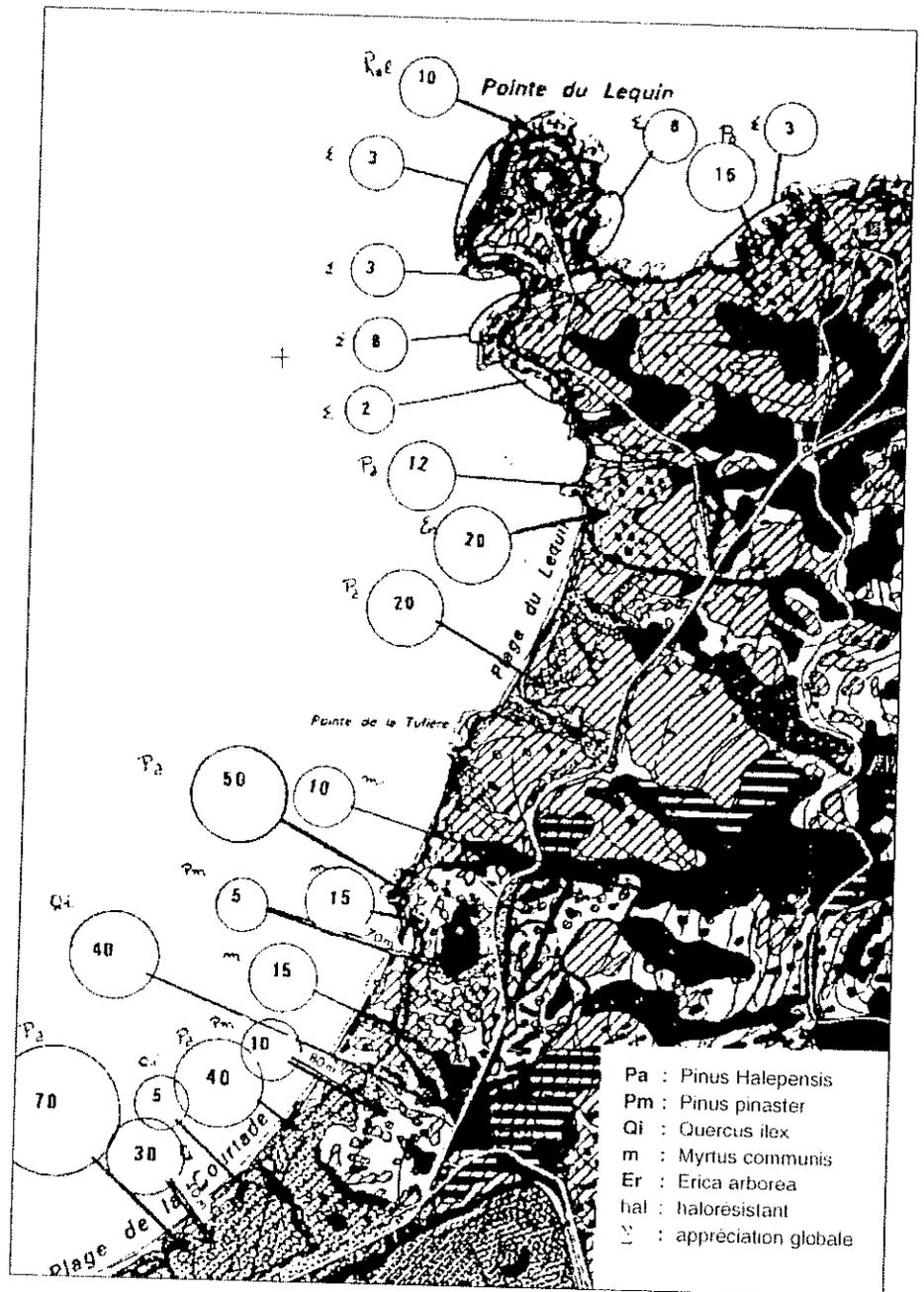
Le programme élaboré à la suite, en 1986, poursuivait trois objectifs :

- 1 - explorer les régions voisines du Parc National de Port Cros, les îles d'Hyères, la côte varoise de la rade d'Hyères et de la rade de Toulon, pour y reconnaître l'ampleur des dommages.
- 2 - mieux cerner le phénomène lui-même de la pollution, quantifier le plus possible les dégâts pour suivre d'éventuelles progressions, régressions ou rémissions.
- 3 - enfin, réunir le plus d'éléments précis possibles pour déceler l'origine (la source ou les sources) de cette nouvelles pollution et les communiquer aux équipes qui s'occupent plus spécifiquement de cet aspect du problème (étude de la couche marine ultrasuperficielle - étude des transferts d'aérosols - étude de la toxicité propre desdits aérosols)\*.

La conduite de la recherche pour répondre à ces objectifs s'est organisée autour des quatre projets suivants :

- Etude synchronique des dommages : les dommages sont repérés et retranscrits codés sur des cartes de végétation. Le travail consiste à parcourir l'espace littoral dans un laps de temps relativement court. De la comparaison des cartes et des différents codages, on peut juger rapidement de l'ampleur, de la variation des dommages en fonction de la situation géographique et topographique au cours d'une même saison.
- Etude diachronique des dommages : C'est l'observation régulière dans le temps (année  $n$ .,  $n+1$ .,  $n+2$ .) du phénomène en un point précis de l'espace, dans un quadrat ou sur un transect fixe. Cette méthode est évidemment la plus précise, mais elle est longue et les résultats sont différés dans le temps. Elle permet cependant de suivre la variation annuelle des nécroses, leur période d'apparition, leur paroxysme, leur rémission voire leur régression au moment des poussées végétatives.
- Etude dendrochronologique des dommages sur certaines espèces ligneuses (*Pinus halepensis* notamment). Cet aspect de l'étude diachronique vise l'exploration du Proche Passé (année  $n-1$ ,  $n-2$ ,  $n-5$ ,  $n-10$ , ...) au travers de *l'analyse des cernes ligneux des vingt dernières années* et pourrait nous permettre de répondre à certaines questions. A quel moment l'arbre adulte a-t-il été affecté par la pollution ? Quels sont les degrés d'atteinte des arbres en fonction de l'éloignement du rivage ? Le processus nécrotique est-il progressif, régulier ou non ?
- Approche du phénomène par des bio-indicateurs : les végétaux supérieurs ne sont pas les seuls affectés par la pollution véhiculée par les aérosols ; les végétaux inférieurs et notamment *les lichens y sont également très sensibles*. L'étude entreprise porte plus particulièrement sur le genre *Ramalina*, *Ramalina pusilla* Le Prév. et *Ramalina canariensis* Steiner, lichens halo-résistants. De même, à titre de test, une étude sur le comportement d'une population animale de l'entomofaune frondicole a été initiée en zone littorale polluée et sur une zone témoin indemne.





## ETUDE SYNCHRONIQUE DES DOMMAGES AFFECTANT LA VEGETATION LITTORALE

### Méthodologie et problèmes méthodologiques

Le principe de l'étude synchronique est simple : parcourir l'espace littoral en notant les espèces, les populations ou les phytocénoses les plus éprouvées par les aérosols marins pollués et apprécier la limite de pénétration des dommages vers l'intérieur des terres.

A partir de ces observations, nous pensions définir aisément une échelle de sensibilité des différents végétaux et des différentes biocénoses à la pollution. Deux années de parcours du littoral nous ont amenés à plus de réserve : en fait, la *réponse végétale est très variable* ; tel végétal très atteint dans un site le sera beaucoup moins sur un autre site, telle espèce très touchée une année le sera moins l'année suivante ou inversement.

Certes les thérophytes et les arbres et arbustes caducifoliés (à cause du renouvellement rapide de leur appareil végétatif ou foliaire) présentent moins de dommages, mais ces végétaux sont rares sur le littoral, dominé par les chamaephytes et les sclérophytes sempervirents (*Quercus ilex* L., *Pinus halepensis* Mill., *Arbutus unedo* L., *Erica arborea* L.) qui sont très touchés.

En fait, le dommage est maximum lorsqu'il y a conjonction d'une arrivée d'aérosols et un état de grande réceptivité végétale. Cela se produit lors des tempêtes qui projettent les embruns sur les plantes en poussée végétative. Or, les phases végétatives des espèces littorales s'échelonnent de Février à Juillet et les tempêtes au printemps et à l'automne, toutes les situations sont possibles et il paraît donc utopique de vouloir lire dans la nature une échelle différentielle des sensibilités. On s'aperçoit donc que l'appréciation du dommage est chose délicate et que la mesure peut varier pour une même espèce avec la station et selon la période d'observation.

La *limite de pénétration de la pollution* paraît plus fiable, mais la topographie du littoral vient compliquer les règles apparemment simples comme l'orientation "au vent" ou "sous le vent".

Malgré toutes ces réserves, nous avons adopté une représentation des dommages en pourcentages en figurant sur documents cartographiques à grande échelle (1/5.000-1/10.000) la zone impactée par un cercle dont le rayon est proportionnel au degré des dommages (Fig. 2 et 3). Bien sûr, l'évaluation visuelle du pourcentage reste encore

Un trait de raccord simple indique le point de la côte où le dommage est observé ; si le trait est double, il indique une profondeur de pénétration de la pollution (profondeur écrite en clair le long de ce double trait) (Fig. 2 et 3). Cette représentation, certes critiquable et encore perfectible, permet pourtant de se rendre compte rapidement de l'ampleur des dommages sur une portion de littoral et de faire apparaître des différences entre deux sites\*.

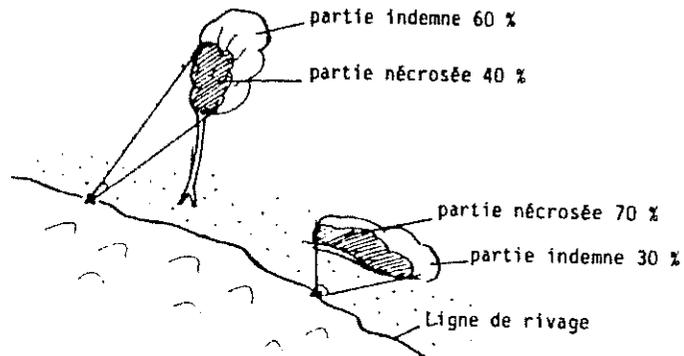


Fig. 4 - Appréciation visuelle d'une nécrose à partir de la ligne de rivage.

Pour compléter cette approche cartographique, nous avons réalisé une abondante iconographie (photographies-couleurs de zones repères, graphiques de terrain) pour un éventuel suivi diachronique ultérieur.

### Région prospectée

Les zones prospectées se situent dans la rade d'Hyères et dans la partie orientale de la rade de Toulon.

De 1984 à 1986, seul le Parc National de Port Cros a été étudié.

En 1987, les observations ont été réalisées :

- 1 - sur la côte N.W. de Giens,
- 2 - sur la côte S.W. de Giens,
- 3 - sur la côte Nord (partie centrale) de l'île de Porquerolles (de la plage de la Courtade à la pointe de l'Alycastre).

En 1988, elles se sont poursuivies :

- 4 - sur la côte N.W. Giens,
- 5 - sur la côte W. du Cap Bénat,
- 6 - sur la côte W. du Cap Lardier.

## Expression des résultats

L'examen de l'ensemble des documents provenant de l'étude synchronique permet de tirer des conclusions :

- 1 - sur le *cheminement et la réception des aérosols*,
- 2 - sur la *nature et l'ampleur du dommage infligé au végétal*,
- 3 - sur l'*extension géographique des dommages et sur l'origine du facteur de pollution*, compte tenu de la répartition générale des dommages dans la rade d'Hyères.

### **Cheminement et réception des aérosols**

L'arrivée des aérosols marins sur le littoral est le plus souvent *directe*. Poussés par le vent dominant, les embruns sont projetés sur la côte et leurs effets vont en s'atténuant du littoral vers l'intérieur. BOURRELLY et CHEREL (1985) illustrent le phénomène à Port Cros, plus précisément à la Plage du Sud (Fig. 5) par mistral et aux Pierres Cassées (Fig. 6) par vent d'Est, nous même à Giens N.W. et ailleurs.

Le dommage est d'autant plus grand que la projection est plus forte le long de la côte rocheuse. Cependant le dommage n'est pas nul en arrière des côtes sableuses (Porquerolles Courtade - plage de Brouis au Cap Lardier). Les zones atteintes affectent souvent une forme en *éventail* comme à la calanque de la Coulontre à Port Cros (Fig. 7), à la Pointe du Vaisseau (Port Cros) ou à la calanque du Four à chaux de Giens.

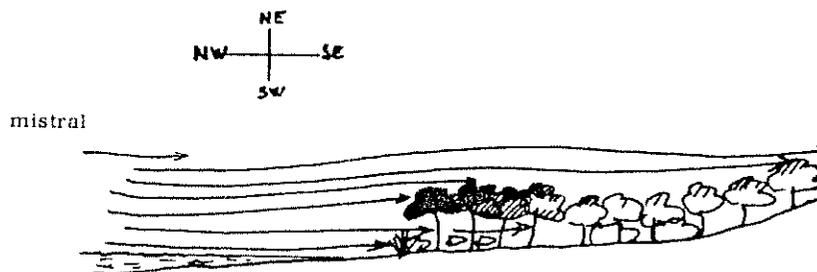
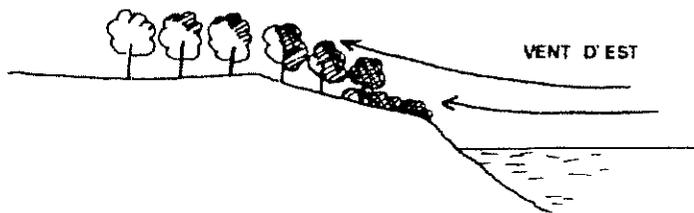


Fig. 5 - Effet de la pollution par mistral à la Plage du Sud à Port Cros (d'après BOURRELLY et CHEREL, 1985).



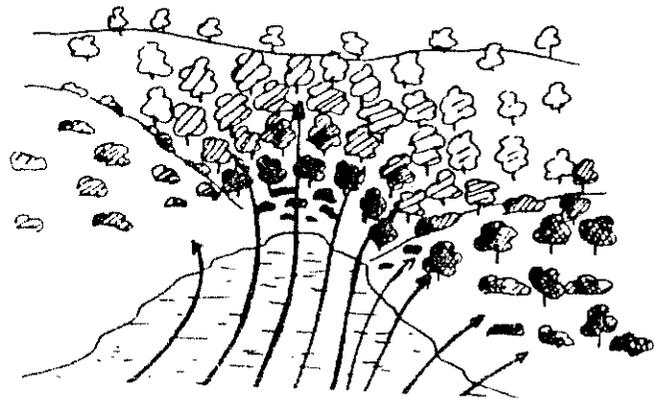
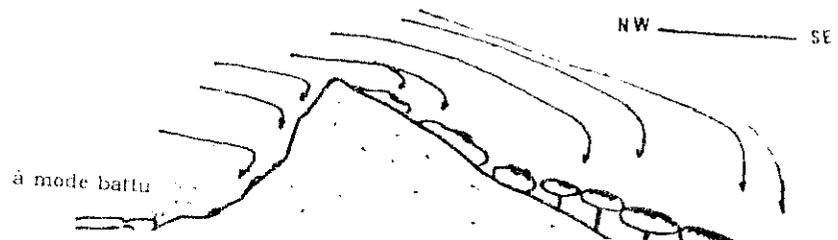


Fig. 7 - Effet d'éventail à la calanque de Coulontre à Port Cros (d'après BOURRELLY et CHEREL, 1985).

Parfois, l'éventail se ferme et les nécroses suivent un tracé linéaire qui s'insinue au milieu d'une végétation indemne ; *effet d'engouffrement* en relation avec une rupture de structure végétale (contact brousse à *Pistacia lentiscus*, maquis à *Erica arborea* par exemple) et avec des microturbulences de l'air. Le phénomène s'observe à Giens N.W., à Porquerolles, entre le Bon Renaud et l'Ayguede notamment.

L'action des aérosols peut également être *indirecte à courte distance*. Au lieu d'atteindre la végétation directement de plein fouet, les aérosols arrivent et agissent par dessus le couvert végétal sur lequel ils se déposent (*effet per descendum*) ou arrivent et agissent par dessous en s'élevant entre les strates (*effets per ascensum*).

La Figure 8 illustre le premier cas à Giens N.W. : retombée des aérosols à la faveur d'une rupture de pente en arrière de la falaise littorale (même cas à Port Cros en arrière de la presqu'île Malalongue). Les individus de *Pinus pinea* L. (Fig. 8) sont nécrosés sur leur cime et sont indemnes en dessous.



Parfois, effet *per ascensum*, les strates étant bien séparées ou la strate arbustive étant absente, les aérosols s'insinuent au travers de la végétation et les nécroses progressent de bas en haut, affectant principalement les branches basses. Les arbres prennent alors un aspect particulier, étiré, comme vrillé parfois (*effet d'étirement*), tout à fait caractéristique\*. La Figure 9 montre les *Pinus pinea* L. de l'anse de Brouis (Cap Lardier) subissant cet effet ; on le retrouve à Giens Sud et à Porquerolles N.W. sur *Pinus halepensis* Mill. et à l'Aiguadon de Porquerolles sur *Quercus ilex* L. Cette chute des embruns au niveau des creux et baies abrités y renforce les effets de nécroses qui y sont plus étendus que sur les caps et promontoires (pénétration plus grande).

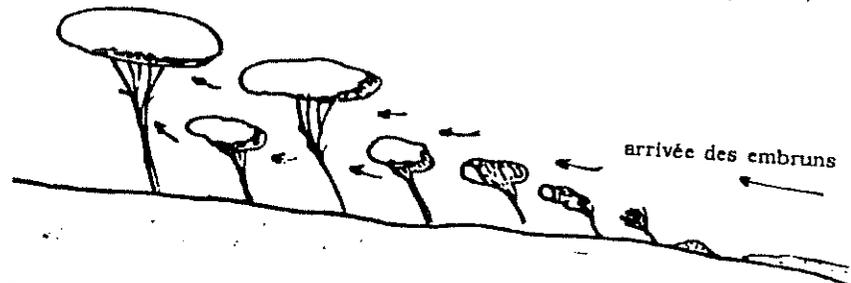


Fig. 9 - Arrivée "per ascensum" de la pollution à l'anse de Brouis - Cap Lardier. Pins pignons étirés, vrillés.

L'action des aérosols peut être indirecte à longue distance (*pollution diffuse*). La végétation est alors affectée à une distance de la mer (100 m-200 m et plus) qui exclut comme cause la projection directe des embruns. Ces dommages, généralement venus "per descendum" (pollution "venue du ciel") affectent surtout le couvert arboré. Nous émettons l'hypothèse qu'il pourrait s'agir d'une *pollution diffuse* non véhiculée par le vent mais provenant plutôt d'une condensation de nébulosité par temps brumeux à fort degré hygrométrique. L'effet *condensation* est prouvé dans de nombreux cas, telle la condensation réalisée par un obstacle (rocher) à Giens Sud à la calanque du Tamarin (Fig. 10) où un *Pinus halepensis* indemne présente une nécrose du côté opposé au rivage et sur les seuls rameaux qui jouxtent l'éminence rocheuse.

La *pollution "des crêtes"* relève de la même explication : dommages constatés sur les sentiers de crête à Port Cros (100 m-150 m d'altitude), de Porquerolles (100 m) et de Giens (60-80 m), à des hauteurs où les embruns ne sont pas habituellement projetés.

Il est probable aussi que cette *pollution diffuse* ne soit pas véhiculée par le même type d'aérosol que ceux du littoral : ils sont nécessairement

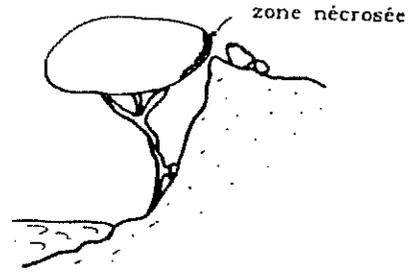
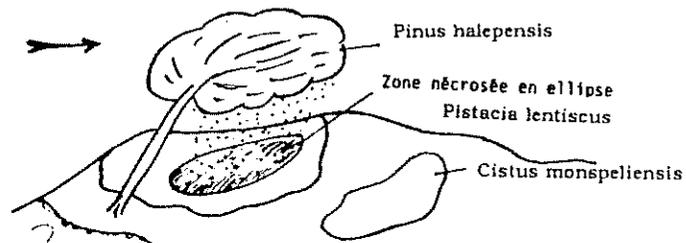


Fig. 10 - Effet de condensation (Giens Sud).

notamment des "film drops", particules les plus fines émises lors de la genèse des aérosols (BLANCHARD et WOODCOCK, 1957, 1980 ; KOLOVAYED, 1976 ; MAC INTYRE, 1970 ; MORELLI, 1968 ; RESCH, 1982, 1986), "particules entraînées en altitude où elles s'évaporeront pour donner des aérosols secs capables d'être transportés très loin et de jouer le rôle de noyaux de condensation". Les mêmes auteurs insistent sur la différence de composition chimique entre ces "film drops", gouttelettes très fines, et les "jet drops", embruns de simple projection. Il nous paraît tout à fait possible d'admettre une double action des aérosols en relation avec leur dualité de dimension et de cheminement.

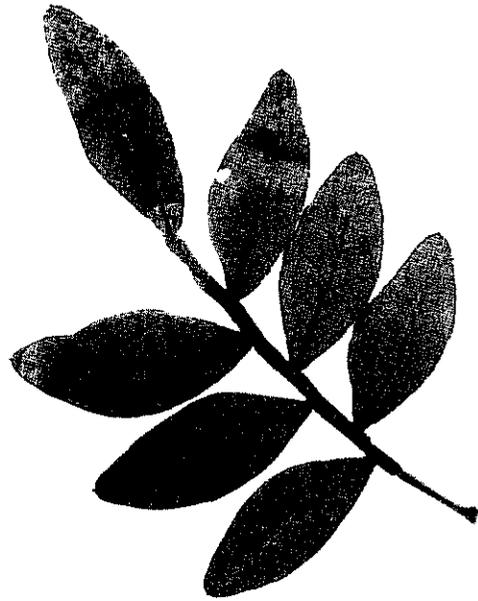
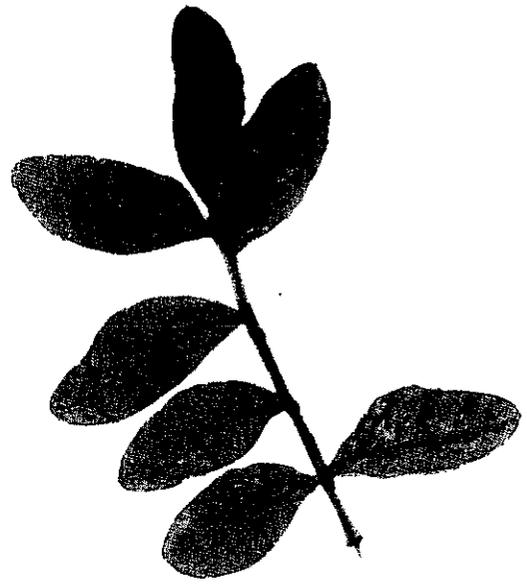
Enfin, l'observation systématique des dommages le long du littoral permet de découvrir parfois des *phénomènes particuliers* : l'effet "goupillon" d'une part et l'abaissement ou la réduction de la morphose d'autre part.

On observe quelquefois dans un sous bois littoral indemne des taches circulaires ou ellipsoïdes fortement nécrosées, taches affectant des arbustes ou chamaephytes bas, au ras du sol (*Myrtus communis* L., *Pistacia lentiscus* L., *Cistus monspeliensis* L., ...). Ces zones nécrotiques circulaires proviennent de la strate arborée supérieure (un arbre penché, une branche basse) qui accumule les aérosols et les restitue au tapis végétal inférieur à chaque secousse imprimée par le vent (effet goupillon - Fig. 11).





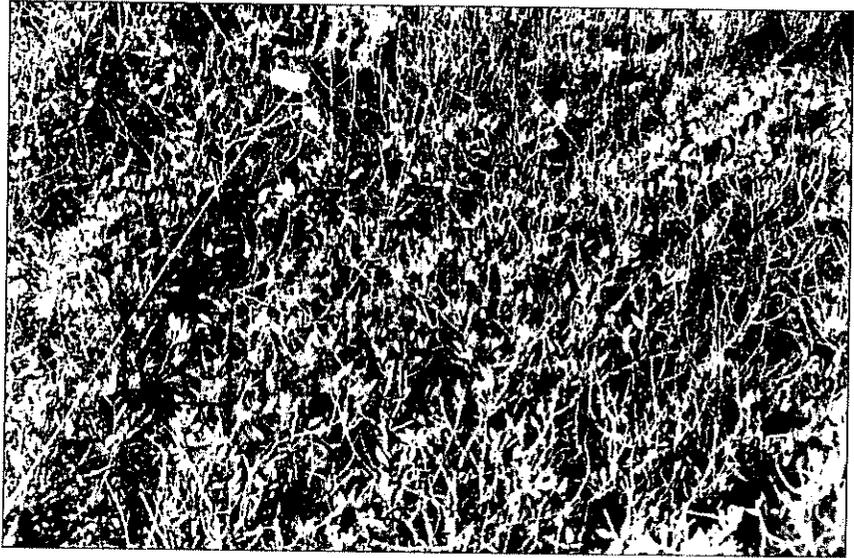














Par ailleurs, les morphoses, le long du littoral, sont fréquentes et résultent d'un long équilibre entre la poussée végétative et l'action inhibitrice du sel sur les bourgeons supérieures. Elles se réalisent sans nécroses (ou avec quelques nécroses fugaces). Or, l'on observe actuellement (cf. Fig. 12) de graves nécroses sur ces anciennes morphoses qui subissent donc de ce fait une réduction de taille. Seuls les rameaux supérieurs secs ou moribonds permettent d'imaginer le biovolume de la morphose primitive.

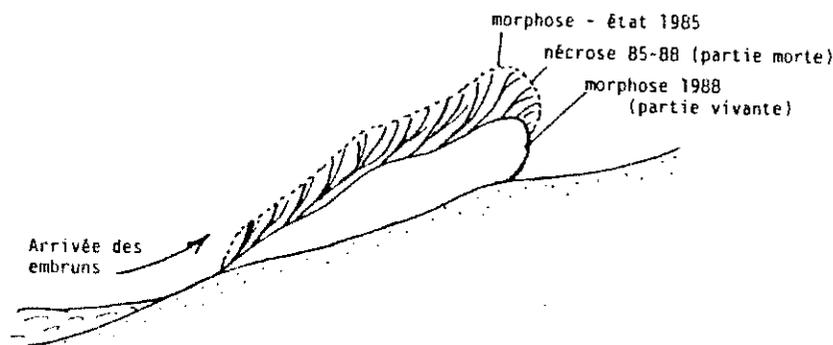


Fig. 12 - Abaissement de la morphose par nécrose des rameaux supérieurs.

### **Réaction des végétaux et des phytocénoses à la pollution par les aérosols marins**

Les réactions des végétaux aux aérosols pollués sont maintenant bien connues (GELLINI et al., 1985 ; SIGOILLOT, 1982). Les figures 13 et 14 (voir in fine), montrent que sur *Quercus ilex* L. les dommages varient avec l'importance de l'impact allant de petites taches nécrotiques à des auréoles de plus en plus larges jusqu'au noircissement (et à la mort) total de la feuille. Chez les sclérophylles (à feuilles assez larges), les nécroses apparaissent à la périphérie du limbe pour l'envahir peu à peu totalement. « La diffusion des polluants vers la périphérie des feuilles peut être attribuée aux propriétés tensioactive des détergents anioniques. Il y a ainsi accumulation des composants phytotoxiques aux régions foliaires les plus perméables et les plus fragiles ». (CROUZET et al., 1987). Sur les aiguilles et microphylls, la nécrose progresse de l'apex vers la base avec destruction progressive de la chlorophylle, les aiguilles les plus âgées (3 ans - 2 ans) tombent prématurément et la masse foliaire est réduite. Chez *Pinus Halepensis* Mill. et surtout *Erica arborea* L., les aiguilles nécrosées persistent, rendant les dommages très visibles ; ce qui fait de ces deux espèces d'excellents repères pour

La réaction des phytocénoses aux aérosols pollués varie d'une phytocénose à l'autre :

**Ceinture halophile :** Sur le liséré halophile, la résistance est bonne mais pas totale. *Statice minuta* L., *Senecio crassifolius* Wild. sont sensibles à la pollution tandis que *Plantago subulata* L., *Lotus allionii* Desv., *Camphorosma monspeliaca* L. et surtout *Crithmum maritimum* L. paraissent plus résistants.

**Ceinture halorésistante :**

La ceinture halorésistante est beaucoup plus sensible et présente des signes de nécrose plus accentués. Les principales espèces, *Senecio cineraria* D.C., *Helichrysum staechas* (K.) D.C., *Euphorbia ptyusa* L., possède sur le même pied plusieurs générations de rameaux feuillés. Dans les conditions normales, ces rameaux et ces feuilles peuvent végéter plusieurs années sur la plante (au moins 3 ans), mais ici, seules les feuilles de l'année (n) sont indemnes, les autres (n-1 et n-2) sont précocement flétries ou carrément sèches. Certains pieds, surtout ceux de *Senecio cineraria* D.C. sont physiologiquement secs (morts ?) sans qu'on puisse affirmer s'il s'agit de mort naturelle (les espèces vivaces ne sont pas éternelles) ou de mort par nécroses foliaires dues à la pollution. Les suivis phénologiques diachroniques sont nécessaires pour expliquer le comportement des espèces halorésistantes. *Thymelea hirsuta* (L.) Endl. présente également des rameaux nécrosés et la longévité de ses rameaux feuillés joue en sa défaveur. Signalons dans les arrières plages la bonne résistance d'*Arundo donax* L. et l'excellente résistance des *Tamarix*.

**Oléolentisque :** Les espèces de l'*Oléo-lentiscetum*, (*Pistacia elntiscus* L., *Myrtus communis* L., *Phillyrea angustifolia* L.) toutes des sclérophylles à feuilles assez larges, montrent de graves dommages (Fig. 15, 16, 17, 20 et 21) (*voir in fine*). La progression de la nécrose se fait toujours de la même façon, de l'extrémité de la feuille vers le pétiole. Sur *Myrtus communis*, nous avons observé des jeunes feuilles totalement nécrosées en 1987 et 1988. *Juniperus phoenicea* L. var. *Lycia* L. réagit différemment, mais comme chez *Thymelea hirsuta* (L.) Endl., les rameaux les plus exposés se nécrosent (rameaux rougeâtres, marrons puis secs). Une espèce très sensible à la pollution est *Smilax mauritanica* Desf. (Fig. 18) (*voir in fine*). dont les larges feuilles rougissent puis se nécrosent entièrement peu après leur croissance.

*Lonicera implexa* Aiton résiste mieux, mais les feuilles n-1 sont absentes.

**Vegetation de l'arrière-plage :** Les espèces de l'arrière-plage

nécrosés à 60% et pourvus d'une grande quantité de glands. Ce phénomène d'hyper-reproduction en milieu pollué avait déjà été observé sur *Quercus ilex* à Port Cros.

**Pinède littorale et maquis :** En ce qui concerne *Pinus halepensis* Mill. et l'*Erica arborea* L., leur sensibilité est extrême. Là aussi, les rameaux exposés au vent sont les plus touchés, mais l'âge du rameau et des aiguilles importe beaucoup. Sur un rameau exposé de *Pinus halepensis*, les aiguilles de l'année peuvent être indemnes alors que celles du rameau de l'année précédente peuvent être nécrosées à 80%, voire 100%.

### **Extension géographique des dommages - Problème de l'origine de la pollution**

Des six portions de côte étudiées, nous n'en présentons ci-dessous que deux, les plus typiques :

- la zone de Giens Nord occidental, côte très polluée (Fig. 2),
- la zone Centre Nord de Porquerolles, moyennement polluée (Fig. 3).

A partir de l'ensemble de nos résultats et de ceux antérieurs de BOURRELLY et CHEREL (1985), nous avons dressé une esquisse de la répartition des dommages dans l'ensemble de la rade d'Hyères (Fig. 19) à partir de laquelle nous pouvons tirer quelques conclusions :

- **aucune portion de côte n'est épargnée.** Les dommages sont certes variables mais toujours présents. Parfois, dans des anses abritées (Cap Benat occidental) la chênaie à *Quercus ilex* et la pinède à *Pinus halepensis* Mill. proches de la mer paraissent indemnes ; à l'examen pourtant, quelques nécroses sont visibles (2% - 5%) et certaines espèces isolées sont davantage touchées (30% - 40%).
- **il existe une relation entre les morphoses et les nécroses.** Une côte "au vent", à végétation rase, morphosée, révélera généralement des nécroses importantes. Cependant, cette relation n'est pas linéaire. La Pointe de Malalongue à Port Cros, très morphosée, n'est que moyennement nécrosée alors que la calanque du Four à Chaux à Giens à morphoses moyennes, présente les nécroses les plus sévères.
- **les côtes des îles exposées au Nord sont beaucoup plus nécrosées que les côtes exposées au Sud.** Le contraste est frappant à Giens où le liseré côtier Nord, de la Madrague à l'île de la Madrague, est beaucoup plus touché que le liseré Sud.

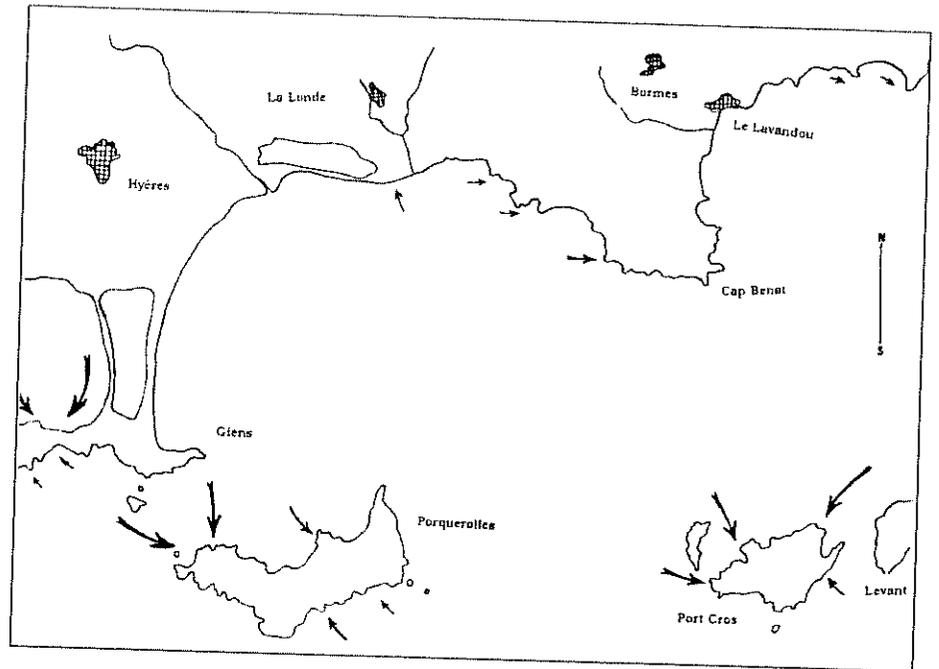


Fig. 19 - Répartition générale des dommages dans la rade d'Hyères (la taille des flèches est proportionnelle à l'importance des dommages observés).

— en progressant du fond d'une rade vers l'extrémité d'un cap ou d'un promontoire (Cap Benot - Cap Lardier), les dommages vont croissant. On passe ainsi progressivement de zones quasi indemnes des plages du Pellegrin - Léoube - l'Estagnol à des zones plus touchées vers Brégançon. La même évolution est sensible de Cavalaire - Gigaro à la pointe Andati, au Cap Lardier.

De ces constatations et de l'examen général de la carte des dommages (Fig. 19), il paraît prouvé que le *mistral* (de direction N → S, ou NW → SE, quelquefois W → E, est le véhicule principal des aérosols, donc de la pollution. Cependant une pollution amenée par des vents d'Est est également sensible, surtout dans la partie orientale de notre dition (Porquerolles à l'Indienne, Port Cros à la Coulontre et aux Pierres Cassées, anse de la Briande au Cap Lardier).

#### Origine de la pollution

Il est un problème capital à élucider, celui de l'origine géographique des composés chimiques. (Aussi, il est intéressant de noter que les dommages sont plus importants dans les zones de l'Est de la rade d'Hyères, ce qui confirme l'impact des vents d'Est.)

effluents venus du continent et leur dérive ou encore une *origine tout à fait locale* en relation avec la surfréquentation estivale (plages - navigation de plaisance) de certains sites.

Les résultats de la seule étude botanique exploratoire ne nous permettent pas de trancher ; cependant une participation des deux dernières origines (avec une pondération variable pour chaque site) n'est pas à exclure. Ainsi, à Giens N.W., la fréquentation estivale de cette portion de côte n'est que moyenne et on peut incriminer davantage une dérive des polluants venus des effluents côtiers (Toulon - Carqueiranne - Hyères - l'Almanarre). Au contraire, la côte N.W. de Porquerolles, partiellement abritée de la dérive des effluents des rades d'Hyères et de Toulon par la barrière de Giens, présente un degré de pollution élevé. La courantologie nous apprendra si un passage des effluents est possible ou s'il faut mettre en cause deux zones proches de surfréquentation estivale : le port de plaisance de Porquerolles <sup>(1)</sup> et la plage et le site de plaisance de la Plage d'Argent.

L'anormale extension des nécroses à la calanque de Coulontre, à la Galère de Port Cros peut être mise en relation avec la surfréquentation estivale des plaisanciers de l'anse de Port Man et de la zone d'Héliopolis de l'île du Levant toute proche.

Sur ce problème, notre contribution ne peut être seule déterminante et la participation d'autres disciplines, météorologie, courantologie, physique de la couche superficielle de l'eau de mer, physique des aérosols, reste bien évidemment nécessaire.

\* \*  
\*

## BIBLIOGRAPHIE

- BLANCHARD D.C., WOODCOCK A.H., 1957. - Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance. *Tellus*, Suède, 9 (23) : 145-148.
- BLANCHARD D.C., WOODCOCK A.H., 1980. - The production, concentration and vertical distribution of sea-salt aerosol. *Ann. New York Acad. Sci.*, 338 : 330-347.
- BONNEAU, 1988. - Le dépérissement des forêts en Europe. *La Recherche*, Décembre.
- BOURRELLY M., CHEREL O.N, 1985. - Impact des embruns pollués sur la végétation littorale de l'île de Port Cros. *Rapport interne au Parc National de Port Cros*. Hyères, Fr. 1-30.
- BUSSOTTI F., RINALDO C., GROSSONI P., GELLINI R., PANTANI F., CENNI E., 1984. - La moria della vegetazione costiera causata dall'inquinamento idrico. *Monti e Boschi*. 35(6) : 47-55.
- CROUZET A., GRAVEZ V., RESCH F., 1987. - Embruns marins pollués. Etat de l'art et bibliographie. GIS POSIDONIE, Ministère de l'Environnement, p. 1-64.
- DOWDEN H.G.M., LAMBERT M.J., 1979. - Environmental factors associated with a disorder affecting tree species in the coast of New South Wales with particular reference to Norfolk Island pines, *Araucaria heterophylla*. *Envir. Pollut.*, 19 : 71-84.
- DOWDEN H.G.M., LAMBERT M.J., 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. *Austral. J. Pl. Physiol.*, 5 : 387-395.
- GELLINI R., PANTANI F., GROSSONI P., BUSSOTTI F., BARBOLANI E., RINALDO C., 1985. - Further investigation on the cause of disorder of the coastal vegetation in the park of San Rossore (centra Italy). *Europ. J. Forest Pathol.*, 15(3) : 145-157.
- KOLOVAYED D.A., 1976. - Investigation on the concentration and statistical size distribution of wind-producing bubbles in the near-surface ocean. Engl. transl. ; *Oceanology*, 15 : 659-661.
- LAVAGNE A., 1972. - La végétation de l'île de Port Cros. Notice explicative de la carte phytosociologique au 1/5.000, Louis Jean Ed., Gap, Fr.
- MAC INTYRE F., 1970. - Geochemical fractionation during mass transfer from sea to air breaking bubbles. *Tellus*, Suède, 22(4) : 451-461.
- MORELLI J., 1968. - Contribution à l'étude de la composition des aérosols formés à la surface de la mer ; leur rôle dans les échanges de matière entre l'océan, l'atmosphère et le continent. Thèse de Doctorat de 3<sup>e</sup> cycle, Faculté des Sciences, Paris.
- MORELLI J., 1980. - Données sur les échanges de matière à l'état particulaire à l'interface air/mer ; implications géochimiques. *Oceanis*, 6(2) : 109-151.
- RESCH F., 1982. - Echanges de polluants entre les océans et l'atmosphère. Etude des mécanismes physiques de production de l'aérosol marin. *Fra. Env-mer*, 81, 153, 13 P, 30 cm, Milieux physiques : Air.
- RESCH F., 1986. - Oceanic air bubbles as generators of marine aerosols. E.C. Monahan and G. Mac Niocail (eds.), *Oceanic Whitecaps*, 101-112, D. Reidel Publishing Company.
- SIGOILLOT J.Cl., 1982. - Les aérosols marins en Méditerranée : composition et phytotoxicité. Thèse Doct. Ing. : Dév. amélior. Plant. : Aix-Marseille 3.