

# POLLUTION PAR LES AÉROSOLS MARINS DANS LES ILES D'HYÈRES

J.-C. SIGOILLOT, M.-H. NGUYEN et L. DEVEZE \*

*Résumé* : En divers endroits particulièrement exposés aux embruns, la végétation des îles d'Hyères présente les signes caractéristiques de dépérissement déjà observés en de nombreux endroits. Une étude de ces aérosols a été entreprise afin de déterminer si cette aggravation de la toxicité était en liaison avec la pollution marine.

L'analyse statistique des résultats obtenus sur une période de huit mois indique un niveau moyen de pollution élevé dont les valeurs instantanées décroissent lorsque la vitesse du vent augmente. La distribution des tension-actifs anioniques indique la présence d'apports extérieurs importants, celle des hydrocarbures démontre la contribution prépondérante du trafic maritime.

*Summary* : On various places, particularly exposed to the sprays, the vegetation of « Hyères Islands » shows the characteristic indications of the withering, already observed in numerous places. A study of these aerosols has been made in order to determine if this aggravation of the toxicity was in relation with the marine pollution.

The statistical analysis of the results obtained during a period of eight months shows a mean level of high pollution whose instantaneous values decrease when the speed of the wind increases. The distribution of anionic tensides shows the presence of important exterior contributions ; hydrocarbons easily prove the preponderant contribution of the maritime traffic.

## INTRODUCTION

Depuis plusieurs années, divers travaux ont mis en évidence un effet phytotoxique particulier des aérosols marins. Les premières observations effectuées sur les côtes italiennes (LAPUCCI et al. 1972) et sur les côtes méditerranéennes françaises (DEVEZE et SIGOILLOT, 1978) avec l'appui de la Mission Interministérielle pour l'Aménagement de l'Espace Naturel Méditerranéen, ont permis d'attribuer la responsabilité de ce dépérissement à la pollution marine. Les facteurs principaux en sont les tensio-actifs et les hydrocarbures qui se retrouvent à des concentrations anormalement élevées dans les aérosols marins. Il est

---

\* Laboratoire de Microbiologie. Faculté des Sciences et Techniques. Rue Henri Poincaré - 13397 MARSEILLE cedex 13.

donc naturel que les côtes de la méditerranée, mer fermée, ne subissent que très peu l'influence des marées, bordée dans sa partie nord-est de pays très industrialisés, soient particulièrement touchées par ce phénomène. Cependant, un dépérissement analogue a été observé récemment sur les côtes de la Nouvelle Galle du Sud (DOWDEN et LAMBERT, 1979). L'enrichissement des embruns en produits polluants découle de leur mode de formation. Le principal phénomène mis en jeu est l'éclatement en surface de bulles gazeuses, d'air en particulier entraîné par le mouvement des eaux.

Ceci se traduit, selon BLANCHARD et WOODCOCK (1957), par la mise en suspension de microgouttes provenant de la calotte supérieure des bulles qui éclatent (Film Drops), et de gouttelettes plus importantes produites par le retour de l'eau dans la cavité ainsi créée (jet drops).

L'aérosol formé représente donc la composition d'une couche superficielle de l'eau de mer d'une épaisseur égale, selon MAC INTYRE (1972) à 0,05 % du diamètre des bulles à l'origine du phénomène. L'épaisseur de la couche superficielle entraînée est donc très faible. La composition de celle-ci ne correspond pas à celle de l'eau de mer. En particulier, les produits peu solubles et de densité faible ou doués de propriétés tensio-actives ont tendance à s'étaler en surface et à former des films qui sont ainsi préférentiellement entraînés.

Les symptômes observés sur la végétation littorale ont été reproduits avec un aérosol artificiel reprenant la composition moyenne des aérosols marins. Les principaux polluants se sont montrés des inhibiteurs de la croissance des tissus végétaux (DEVEZE et SIGOILLOT, 1978). Leur pénétration dans les tissus, facilitée par la présence de tensio-actifs et par le fait que la forte hygrométrie entraîne une ouverture des surfaces végétales aux niveaux infra-microscopiques (cuticule) et macroscopiques (stomates) (BOIZE et al., 1976). Certains de ces polluants, en particulier les hydrocarbures, sont véhiculés par la plante le long du système vasculaire libéro-ligneux et s'accumulent dans les parties méristématiques (BOYLES, 1967).

Diverses observations effectuées sur les Iles d'Hyères ont permis de déceler l'apparition de symptômes analogues. Une étude ponctuelle sur ce site a donc été entreprise, d'un intérêt certain en raison de la présence du Parc National de Port-Cros, de l'attrait touristique et de la position particulière des Iles.

## MATERIEL ET METHODE UTILISES

Des capteurs plans ont été installés en divers endroits choisis en fonction de leur exposition et des dégâts visibles au niveau de la végétation (cf carte figure 1).

### Port-Cros

- |                     |     |
|---------------------|-----|
| — Baie de Port-Cros | PC1 |
| — Plage du Sud      | PC2 |
| — Anse de la Palu   | PC3 |

## Porquerolles

- Cap des Mèdes PQ1
- Plage de la Courtade PQ2
- Gorges du Loup PQ3

Ces capteurs sont constitués d'un support vertical, permettant de maintenir face au vent dominant des plaques de verre de dimension 30 x 30 cm qui recueillent les aérosols marins par impaction. Un échange périodique de ces plaques a été réalisé par le personnel du Parc National de Port-Cros.

Le temps d'exposition a été choisi de façon à obtenir des quantités de polluants suffisantes pour permettre un dosage correct, compte tenu des méthodes analytiques choisies (6 jours minimum pour les tensio-actifs anioniques).

Après extraction à l'eau distillée bouillante ou au tétrachlorure de carbone selon le cas, les déterminations suivantes ont été effectuées :

— Dosage des hydrocarbures totaux (H.C.) par infra-rouge dans le tétrachlorure de carbone conformément à la méthode A.F.N.O.R. (norme 90-203).

— Dosage des tensio-actifs anioniques (A.B.S.) par la méthode au bleu de méthylène modifiée pour le dosage en eau de mer (ARMAN-GAU, 1967).

— Dosage des chlorures par argentimétrie (MOHR, 1856). La teneur en chlorures sert de référence (BLOCH et al., 1972) et permet de déterminer les rapports A.B.S./Cl<sup>-</sup> et H.C./Cl<sup>-</sup> qui représentent le degré de pollution des aérosols (facteurs de concentration).

D'autre part, ERIKSSON (1959) a montré que la teneur en chlorures dans l'atmosphère augmentait proportionnellement à la force du vent. La teneur en chlorures relevée sur les capteurs dépendra donc en partie de la durée d'exposition (15 jours en moyenne) mais surtout de la vitesse du vent pendant cette période. Pour tenir compte des variations de la durée d'exposition, on prendra pour les calculs le débit massique moyen en chlorures par jour et par capteur qui sera ainsi une représentation moyenne des conditions météorologiques sur la période considérée.

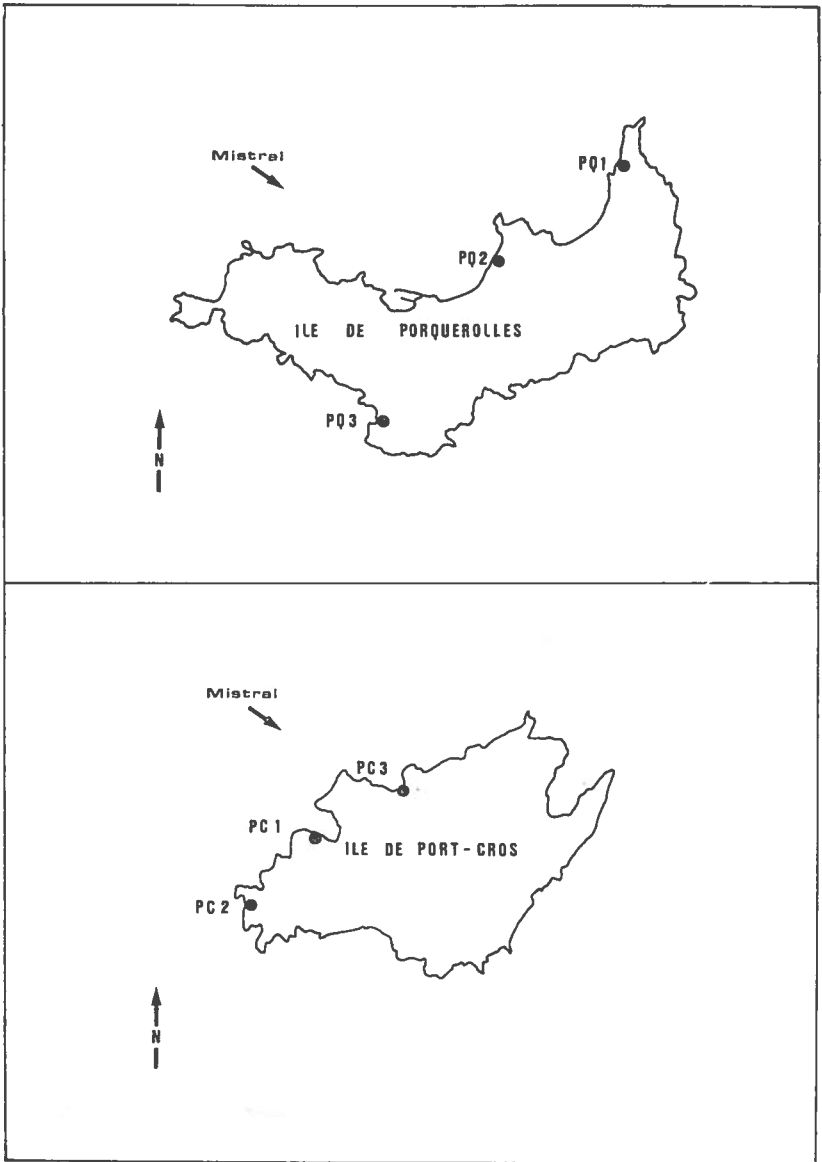


FIGURE 1 : Localisation des capteurs installés sur Porquerolles et Port-Cros.

## RESULTATS ET DISCUSSION

Les tableaux I et II indiquent pour Port-Cros et pour Porquerolles les rapports A.B.S./Cl<sup>-</sup> et H.C./Cl<sup>-</sup>, le nombre de jours d'exposition et l'apport en chlorures par capteur et par jour, pour les prélèvements échelonnés durant la période de Mai à Décembre 1980.

La comparaison des moyennes entre chaque station (tableau III) montre une différence importante entre Porquerolles et Port-Cros. Il est difficile de comparer ces résultats entre eux et avec ceux obtenus à Marseille (Plage du Prado) sur une autre période car les fluctuations de ces valeurs sont importantes. Ceci indique cependant que le niveau général de pollution dans les Iles d'Hyères, en particulier à Porquerolles est relativement élevé, aussi bien au niveau des tensio-actifs que des hydrocarbures.

Comme pour la région Marseillaise, le rapport de ces valeurs moyennes reste sensiblement du même ordre de grandeur, confirmant que les rejets d'hydrocarbures sont environ dix fois plus importants que ceux des tensio-actifs. Cependant, des expérimentations effectuées sur des cultures de tissus végétaux ont montré que les tensio-actifs anioniques possédaient une toxicité propre environ dix fois supérieure aux hydrocarbures (SIGOILLOT et al., 1981).

L'examen des résultats n'indique aucune relation directe évidente entre le temps d'exposition et les teneurs relevées, ni de variations saisonnières marquées.

Les corrélations que l'on peut établir entre les différents capteurs montrent que l'on se trouve en présence de la superposition de plusieurs phénomènes qui masquent ces variations.

TABLEAU I  
PORT-CROS

Valeurs des rapports A.B.S./Cl<sup>-</sup> et H.C./Cl<sup>-</sup> et teneurs en chlorures relevées pour la période de mai à décembre 1980

Nombre de jours	$\frac{A.B.S.}{Cl^{-}} \times 10^3$			$\frac{H.C.}{Cl^{-}} \times 10^3$			Cl <sup>-</sup> mg/jour x capteur		
	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3	PC1	PC2	PC3
7	2,38	0,67	0,58	22,2	4,16	2,88	1,19	5,36	5,9
13	0,33	0,21	0,3	10,25	8,96	11,7	4,0	4,05	2,68
15	3,68	3,51	1,34	117	58,6	34,1	0,30	0,37	0,60
14	0,43	0,33	0,28	9,5	4,44	3,46	3,38	3,30	3,82
7	3,58	0,94	2,70	65,5	13,0	65,2	0,64	2,26	0,80
8	0,13	0,09	0,17	2,42	1,89	1,66	19,05	18,9	12,5
13	0,71	0,40	0,64	12,8	10,8	12,9	1,72	1,90	1,47
18	0,45	0,35	0,31	10,5	9,87	16,1	2,49	2,08	2,40
18	1,1	1,48	2,23	22,4	25,3	21,5	0,208	0,19	0,16
29	1,59	0,54	1,64	17,4	3,88	79,4	0,27	1,19	0,27
24	0,76	0,33	1,95	13,3	6,3	30,6	0,78	1,58	0,256

**TABLEAU II**  
**PORQUEROLLES**

Valeurs des rapports A.B.S./Cl<sup>-</sup> et H.C./Cl<sup>-</sup> et teneurs en chlorures relevées pour la période de mai à décembre 1980

Nombre de jours	$\frac{A.B.S.}{Cl^-} \times 10^3$			$\frac{H.C.}{Cl^-} \times 10^3$			Cl <sup>-</sup> mg/jour x capteur		
	PQ1	PQ2	PQ3	PQ1	PQ2	PQ3	PQ1	PQ2	PQ3
6	5,02	2,3	10,4	236	72,7	144,7	0,56	1,31	0,56
7	2,20	3,84	1,6	169	182	43,5	0,96	0,64	2,09
8	0,58	0,66	0,11	16,8	10,6	2,25	2,75	4,08	25,05
13	0,71	1,08	4,0	7,2	12,5	25,3	5,46	3,03	1,13
7	2,07	2,65	0,65	13,6	11,0	5,31	4,16	2,40	5,6
14	0,42	0,74	0,09	3,62	3,46	0,85	4,4	4,64	27,6
7	3,04	1,64	1,0	27,7	25,9	10,3	2,32	2,4	2,9
7	2,27	1,73	3,07	12,8	10,3	8,1	4,80	5,1	2,9
14	6,09	3,99	3,54	15,7	16,4	21,1	1,1	1,24	1,0
21	0,86	5,0	1,35	4,24	55,9	25,4	1,4	0,32	0,77
7	5,60	1,87	14,3	28,0	39,7	49,8	0,64	0,80	0,64
21	0,85	4,47	6,46	3,70	7,8	22,2	1,27	0,53	0,42
7	2,00	6,1	3,74	2,9	42,7	8,9	6,05	0,95	3,34
14	0,53	1,12	0,44	3,47	4,64	1,97	10,4	6,85	7,6

— Influence prépondérante des conditions météorologiques

Le degré de pollution des aérosols dépend surtout de la composition de la couche superficielle de l'eau de mer. Celle-ci présentera d'autant moins de différence avec les eaux plus profondes que la mer sera plus agitée. On peut donc s'attendre à observer une diminution du degré de pollution des embruns lorsque la teneur en chlorures dans l'atmosphère s'accroît, c'est-à-dire lorsque la force du vent et l'état d'agitation de la mer augmentent.

Le facteur de concentration et la teneur en chlorures sont effectivement bien corrélés par une relation du type

$$y = - A \text{ Log } 10x + B$$

où y représente le facteur de concentration  $\frac{A.B.S.}{Cl^-}$  ou  $\frac{H.C.}{Cl^-}$  et x repré-

sente le taux moyen de chlorure par jour.

Le tableau IV indique pour chacun des facteurs les coefficients de corrélation et la figure 2 donne un exemple de droite de corrélation pour les tensio-actifs à l'Anse de la Palu (PC3).

— Orientation et situation des capteurs

Pour comparer entre eux les niveaux de pollution, il est nécessaire que les capteurs soient placés dans des conditions identiques, en particulier exposition comparable au vent dominant. Pour le vérifier,

nous avons corrélé entre elles les différentes teneurs en chlorure. Une corrélation linéaire donne de très bons résultats, sauf pour le capteur situé dans les gorges du Loup (PQ3) comme en témoignent les coefficients de corrélation regroupés dans les tableaux V et VI. Ce type de corrélation peut donc servir à comparer les capteurs entre eux.

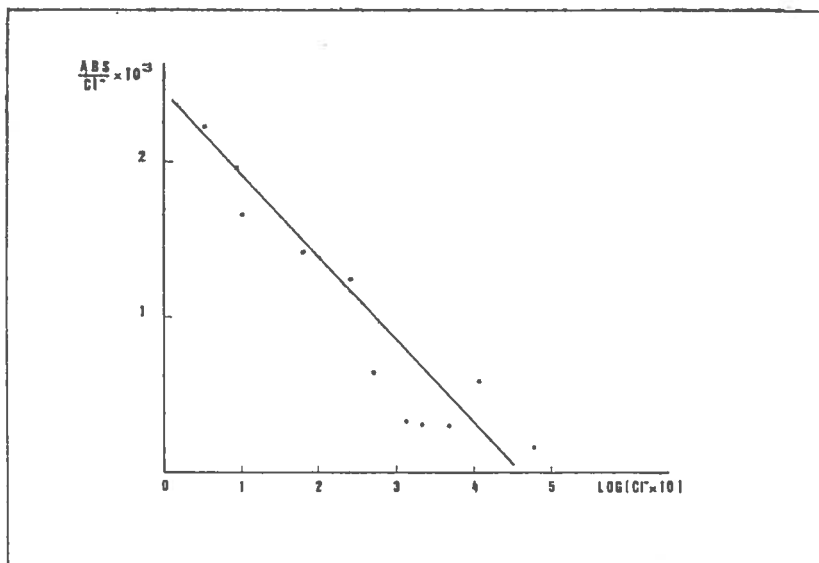


FIGURE 2 : Droite de corrélation entre tensio-actifs et chlorures à l'anse de la Palu (PC3)

TABLEAU III

Valeurs moyennes des rapports	A.B.S.		H.C.		A.B.S. moyen		H.C. moyen
	$\frac{\text{A.B.S.}}{\text{Cl}^-}$	et	$\frac{\text{H.C.}}{\text{Cl}^-}$	et	rapports	$\frac{\text{A.B.S.}}{\text{H.C.}}$	
pour chacun des capteurs	PQ1	PQ2	PQ3	PC1	PC2	PC3	Marseille Prado
$\frac{\text{A.B.S.}}{\text{Cl}^-} \times 10^3$	2,30	2,66	3,62	1,38	0,81	1,10	3,48
$\frac{\text{H.C.}}{\text{Cl}^-} \times 10^3$	38,9	35,4	26,4	27,6	13,4	25,4	43,8
$\frac{\text{A.B.S.}}{\text{H.C.}}$	0,06	0,072	0,137	0,056	0,06	0,043	0,079

TABLEAU IV

Coefficients de corrélation entre tensio-actifs anioniques et chlorures et entre hydrocarbures et chlorures pour chacun des capteurs

	PQ1	PQ2	PQ3	PC1	PC2	PC3
A.B.S.	0,67	0,63	0,72	0,68	0,55	0,82
H.C.	0,58	0,39	0,57	0,47	0,70	0,66

TABLEAU V

PORQUEROLLES : Coefficients de corrélation entre capteurs

	1 — 2	1 — 3	2 — 3
A.B.S.	0,13	0,65	0,09
H.C.	0,73	0,86	0,46
Cl-	0,79	0,29	0,57

TABLEAU VI

PORT-CROS : Coefficient de corrélation entre capteurs

	1 — 2	1 — 3	2 — 3
A.B.S.	0,72	0,73	0,72
H.C.	0,87	0,39	0,14
Cl-	0,97	0,91	0,96

Ces résultats montrent que sur Port-Cros, les tensio-actifs sont particulièrement bien corrélés, alors qu'ils ne le sont pas du tout sur Porquerolles. Par contre, il n'est pas possible de trouver de correspondance entre les capteurs pour les hydrocarbures.

On peut déduire de ces résultats que les tensio-actifs sont répartis de façon plus homogène et en quantité plus faible autour de Port-Cros que de Porquerolles. Ceci s'explique par des rejets plus importants sur Porquerolles même avant la mise en place du lagunage (rejets des Gorges du Loup, PQ3) et par la relative proximité d'apports continentaux importants.

L'éloignement de Port-Cros favorise la dispersion des polluants qui se traduit par des teneurs plus faibles mais par une répartition plus homogène.

Les hydrocarbures provenant essentiellement du trafic maritime (DEVEZE et SIGOILLOT, 1978) sont répandus de façon plus aléatoire, ce qui produit des variations importantes au niveau des capteurs.



## CONCLUSION

Les mesures effectuées ont montré que les aérosols marins prélevés en différents endroits des côtes des Iles d'Hyères contenaient des quantités importantes de tensio-actifs anioniques et d'hydrocarbures. Ce phénomène est particulièrement accentué au niveau de Porquerolles, d'une part plus peuplée, et d'autre part plus proche du continent et de rejets urbains plus importants que Port-Cros.

Ces résultats sont suffisants pour expliquer une action phytotoxique particulière de ces aérosols en divers endroits exposés aux vents dominants.

Une analyse statistique des données expérimentales montre que l'accroissement de la vitesse du vent diminue la concentration en polluants au niveau des aérosols. Ce phénomène et l'importance probable des apports continentaux masquent l'effet des variations saisonnières.

Il serait donc nécessaire de mettre en œuvre des matériels conçus pour le prélèvement direct de la couche superficielle de l'eau de mer afin de faire la part des apports continentaux et de déterminer l'importance exacte des variations saisonnières.

## Remerciements

Les auteurs remercient le personnel du Parc National pour le concours qui leur a été apporté, en particulier pour les relevés périodiques des capteurs.

## BIBLIOGRAPHIE

- ARMANGAU C., 1967. — Tentative d'utilisation des détergents anioniques comme traceurs de pollution fécale. *Rev. Trav. Inst. Pêches marit.*, 31 (4) 417-424.
- BLANCHARD D.-C., WOODCOCK A.-H., 1957. — Bubble formation and modification in the sea and its meteorological significance. *Tellus*, 9 : 145-158.
- BLOCH M.-R., LUECKE W., 1972. — Geochemistry of ocean water bubble spray. *J. of Geophys. Research*, 77 (27), 5101-5105.
- BOIZE L., GUDIN C., PURDUE G., 1976. — The influence of leaf surface roughness on the spreading of oil spray drop. *Annals of Applied Biology*, 84, 205-211.
- BOYLES D.-T., 1967. — The mechanism of phytotoxicity of n-decane on certain plants. *M. Sc. Thesis, University of London*.
- DEVEZE L., SIGOILLOT J.-C., 1978. — Les arbres malades de la mer. *Eau et Aménagement*, 19, 13-24.
- DOWDEN H.-G.-M., LAMBERT M.-J., 1979. — Environmental factors associate with a disorder affecting tree species on the coast of new south wale with particular reference to Norfolk Island pines. *ARAUCARIA HETEROPHYLLA. Environ. Pollut.*, 19, 71-84.

- ERIKSSON E., 1959. — The yearly circulation of chloride and sulphur in nature : meteorological, geochemical and pedological implications. *Tellus*, 11, 375-403.
- LAPUCCI P.-L., GELLINI R., PAIERO P., 1972. — Contaminazione chimica dell'acqua marina quale causa di moria dei pini lungo le coste tirreniche. *Accademia Italiano Di Scienze Forestali Annali*, 21, 323-358.
- MAC INTYRE F., 1972. — Flow patterns in breaking bubbles. *Jour. of Geophys. Research*, 77 (27) 5211-5228.
- MOHR F., 1856. — Neue Massanalytische Bestimmung des Chlors in Verbindungen. *Ann.*, 97, 355-358.
- SIGOILLOT J.-C., NGUYEN M.-H., DEVEZE L., 1981. — Transport de composants phytotoxiques par les aérosols marins sur les côtes méditerranéennes françaises. *Publication en cours*.

*Accepté le 1<sup>er</sup> juillet 1981*