

BULLETIN
DU
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONDÉ LE 23 MAI 1960

PAR S.A.S. LE PRINCE RAINIER III



ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES
DU
LABORATOIRE D'ÉTUDES DES POLLUTIONS MARINES
ET DU
LABORATOIRE DE NEUROBIOLOGIE MOLÉCULAIRE

PRINCIPAUTÉ DE MONACO

Volume 2 - 1986

BULLETIN
DU
CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

ÉTABLISSEMENT PUBLIC FONDÉ LE 23 MAI 1960
PAR S.A.S. LE PRINCE RAINIER III



ACTIVITÉS SCIENTIFIQUES
DU
LABORATOIRE D'ÉTUDES DES POLLUTIONS MARINES
ET DU
LABORATOIRE DE NEUROBIOLOGIE MOLÉCULAIRE

Volume 2

Le Centre Scientifique de Monaco a été fondé par Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III, par la Loi n° 690 du 23 mai 1960, complétée par la Loi n° 780 du 9 juin 1966.

Cet établissement public, de droit monégasque, est géré par un Conseil d'Administration, présidé de 1960 à 1976 par Son Excellence Monsieur Arthur Crovetto et depuis par Son Excellence Monsieur César Charles Solamito.

Son activité est examinée périodiquement par le Comité de Perfectionnement, chargé en outre, d'en orienter les travaux, sous la Présidence de Monsieur Emile Girardeau, Membre de l'Institut, jusqu'en 1971 et depuis par Monsieur Bertrand Goldschmidt, Conseiller du Commissariat français à l'Énergie Atomique.

Les appellations employées dans ce Bulletin et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part du Centre Scientifique de Monaco aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

© Droits de reproduction et de traduction réservés pour tous pays.

PRÉFACE

Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III instituait le 23 mai 1960 le Centre Scientifique de Monaco avec sa première unité de recherche, le Laboratoire de Radioactivité Appliquée, ayant pour mission de mettre en œuvre des programmes fondés sur l'utilisation pacifique de l'atome, mais aussi d'assurer une veille en mesurant régulièrement les niveaux de radioactivité en mer, dans les organismes et les sédiments marins, dans les poussières transportées par les vents et parfois porteuses de produits de fissions ayant pour origine les expériences d'explosions nucléaires aériennes.

Cette unité a fait l'objet de la publication du Bulletin 1.

La pression de l'Homme sur la biosphère s'intensifiant avec le développement accru de l'industrie mondiale, les types de pollution devenant plus nombreux et variés, l'océan mondial étant le réceptacle final des déchets, Notre Souverain créait en 1966, au sein du Centre Scientifique de Monaco, le Laboratoire de Microbiologie et d'Études des Pollutions Marines.

Ce laboratoire, d'abord représenté par une petite équipe chargée de la surveillance bactériologique et de la salubrité des eaux côtières de la Principauté, allait progressivement s'étoffer. Au fil des ans, il se complétait avec de nouvelles unités de recherches spécialisées en chimie, en océanographie biologique et en océanographie chimique, associées à l'Observatoire de Météorologie.

Toutes ces unités coordonnent leurs efforts et s'attachent ainsi à mieux comprendre le fonctionnement des systèmes marins pour agir le plus efficacement possible contre les dégradations du milieu océanique.

C'est une partie de ce travail que reflètent les articles regroupés dans ce fascicule. Ils tracent les étapes franchies patiemment et soulignent les axes prioritaires d'activité du laboratoire des pollutions marines.

C'est ainsi qu'ont été abordées des études sur les variations des températures des eaux de surface à Monaco dont la connaissance est très importante pour la compréhension des échanges entre la mer et l'atmosphère. Les trajets de rejets en mer ont été suivis et les courants ont été enregistrés pendant de longues périodes afin d'analyser, après élaboration des résultats, la dynamique des masses d'eau en surface et en profondeur. Les caractères physiques de l'eau de mer n'ont pas été oubliés et ont fait l'objet de nombreuses mesures ayant permis de mettre en évidence leurs variations saisonnières ou accidentelles et aussi des relations entre la matrice physique de l'environnement et les êtres vivants qui en dépendent.

Enfin, les problèmes relatifs aux espèces chimiques introduites en mer, ayant pour origine les activités humaines ont été étudiées sous divers aspects. Par exemple, des polluants tensio-actifs, véritables traceurs qui révèlent des déversements urbains et résultent de l'utilisation des lessives ménagères, ont été suivis. Les sels d'ammonium ont été recherchés, car, en excès, ils traduisent un accroissement anormal des déchets organiques. Quant aux métaux considérés comme dangereux (cuivre, cadmium,

mercure, plomb...) les nombreuses analyses pour les déceler ont permis de mettre en évidence des relations entre les variations de teneurs et les conditions de milieu, la nature des sédiments et les êtres vivants benthiques ou pélagiques.

Cette coopération fructueuse des chercheurs au sein du Centre Scientifique de Monaco s'est ouverte vers le monde extérieur et ses équipes ont participé et continuent de prendre part aux programmes internationaux patronnés par les Nations Unies (Programme des Nations Unies pour l'Environnement) et aux programmes régionaux découlant des Accords bilatéraux (tel le Réseau National d'Observation mis en place en France), par des accords inter-gouvernementaux comme l'Accord Ramoge qui réunit les efforts de la France, de l'Italie et de la Principauté de Monaco pour lutter contre la pollution marine entre Gênes et Saint-Raphaël.

Les paroles du Prince Albert I^{er} de Monaco ont, aujourd'hui, encore, toute leur puissance :

*« ... La surface des océans forme un lien entre les peuples, un lien auquel tous cherchent
« à se rattacher et la profondeur des mers est le centre de la vie organique, celui d'où
« nous venons tous comme des enfants de la même famille, comme les fruits innom-
« brables d'une puissance colossale, comme les mondes qui circulent dans l'espace infini
« sont issus de grandes forces inconnues dans la fécondité qui constituent la loi univer-
« selle de la vie et de la mort. »*

Son Altesse Sérénissime le Prince Rainier III tient à poursuivre l'œuvre de Son Auguste bisaïeul en contribuant à conserver vivant l'océan dont dépend le destin de l'Homme.

*
* *

TABLE DES MATIÈRES

I.

LABORATOIRE D'ÉTUDE DES POLLUTIONS MARINES

| | |
|---|----|
| JAUBERT (J.), PESANDO (J.-J.) & VAISSIERE (R.), 1973. – Une bouée de télémessure et sa station interrogatrice installée à Monaco, Journées Etud. Pollutions : pp. 75-76, C.I.E.S.M., Athènes 1972 | 11 |
| VAISSIERE (R.), SEMERIA (J.), SCHOMMERS (E.), BOISSON (M.), 1973. – A propos d'une expérience de localisation par traceurs et photographie aérienne, de rejets en mer dans la région de Monaco, Journées Etud. Pollutions : pp. 29-30, C.I.E.S.M., Athènes 1972 | 13 |
| PUCCI (R.), VAISSIERE (R.), 1975. – Remarques sur le dosage des détergents anioniques en eau de mer, II ^{es} Journées Etud. Pollutions : pp. 177-178, C.I.E.S.M., Monaco, 1974 | 15 |
| BETHOUX (N.), IBANEZ (F.), 1978. – Analyse temporelle de la température de surface de la mer dans la baie de Monaco, Congrès du C.N.S., Symposium climatologie, Nice, octobre 1978 : pp. 455-464 | 17 |
| PUCCI (R.), VAISSIERE (R.), 1979. – Méthode d'analyse quantitative par voie automatique des tensio-actifs anioniques en eau de mer, IV ^{es} Journées Etud. Pollutions : pp. 617-622, C.I.E.S.M., Antalya 1978 | 27 |
| BOISSON (M.), VAISSIERE (R.), SCHOMMERS (E.), SEMERIA (J.), 1979. – 1967-1977, dix ans de contrôle de la qualité des eaux marines de Monaco – Première Analyse – II ^{es} Journées Etud. Pollutions : pp. 517-521, C.I.E.S.M., Antalya 1978 | 32 |
| FOWLER (S.W.), LA ROSA (JU.), UNLU (Y.), OREGIONI (B.), VILLENEUVE (J.), ELDER (D.L.), FUKAI (R.), VALLON (D.), BOISSON (M.), 1979. – Heavy metals and chlorinated hydrocarbons in pelagic organisms from the open Mediterranean Sea : IV ^{es} Journées Etud. Pollutions : pp. 155-158, C.I.E.S.M., Antalya 1978 | 37 |
| FALCONETTI (C.), SEGUIN (G.), VAISSIERE (R.), 1979. – Premières observations sur des récoltes expérimentales de zooplancton effectuées sur la flexure du plateau continental au large de Calvi (Corse), Rapp. Com. int. Mer Médit., 25/26, 8 | 40 |
| VAISSIERE (R.), SEGUIN (G.), 1979. – Résultats de pêches verticales de copépodes en mer Ionienne, Rapp. Comm. int. Mer Médit., 25/26, 8 | 42 |
| BETHOUX (N.), IBANEZ (F.), 1979. – Analyse temporelle de la température de surface de la mer dans la baie de Monaco – Relation avec la température de l'air, Rapp. Comm. int. Mer Médit., 25/26, 7 : pp. 47-49 | 44 |

| | |
|---|-----|
| BALIGNIERE (C.), CENCIARINI (J.), FERNEX (F.), PUCCI (R.) & VAISSIERE (R.), 1980. – Problems of storage of various substances found in the interstitial waters of the surface sediments of the french continental shelf, Prog. Wat. Tech., 12, 1: pp. 79-87 | 47 |
| BETHOUX (N.), ETIENNE (M.), IBANEZ (F.) & RAPAIRE (J.-L.), 1980. – Spécificités hydrologiques des zones littorales, analyse chronologique par la méthode census II et estimation des échanges océan-atmosphère appliquées à la baie de Villefranche-sur-Mer, Annales de l'Institut Océanographique, 56 (2): pp. 81-95 | 56 |
| BETHOUX (N.), RAPAIRE (J.-L.), 1981. – Evaluation des échanges thermiques océan-atmosphère dans la rade de Villefranche-sur-Mer, Application à la connaissance de la circulation des eaux, Rapp. Comm. int. Mer Médit., 27, 6: pp. 181-186 | 71 |
| BETHOUX (N.), BOISSON (M.), MARMENTEAU (C.), RAPAIRE (J.-L.), VAISSIERE (R.), 1983. – Mesures de courants dans la baie de Monaco, Résultats préliminaires, Rapp. Comm. int. mer Médit., 28, (2): pp. 159-162 | 77 |
| BETHOUX (N.), BOISSON (M.), RAPAIRE (J.-L.), VAISSIERE (R.), 1983. – Anomalies de salinité observées en 1981-1982 dans la baie de Monaco, Rapp. Comm. int. mer Médit., 28, (2): pp. 163-168 | 81 |
| BEZARD (D.), VEGLIA (A.) & VAISSIERE (R.), 1984. – Mercury and cadmium concentrations in three marine benthic organisms. Variations according to the sampling areas in the canal de Corse, VII ^{es} Journées Etud. Pollutions, Lucerne, C.I.E.S.M.: pp. 309-315 | 87 |
| VEGLIA (A.) & VAISSIERE (R.), 1984. – Seasonal variations of zinc, copper and nutrients in coastal sea-water of the Ligurian sea, VII ^{es} Journées Etud. Pollutions, Lucerne, C.I.E.S.M.: pp. 297-302 | 94 |
| PUCCI (R.), 1985. – Influence de la dilution dans la détermination de l'azote ammoniacal en milieu complexe (eau interstitielle des sédiments marins, eau de mer), Rapp. Comm. int. mer Médit., 29, 6: pp. 97-98 | 100 |
| BOISSON (M.), RAPAIRE (J.-L.), VAISSIERE (R.), 1985. – Les conditions de courant en mer de Monaco, Rapp. Comm. int. mer Médit., 29, 3: pp. 115-118 | 102 |
| BOISSON (M.), CORLETTI (Y.), VAISSIERE (R.), 1985. – Variation de la biomasse zooplanctonique en baie de Monaco, Rapp. Comm. int. mer Médit., 29, 9: pp. 311-317 | 107 |
| PUCCI (R.), 1986. – Analyses chimiques automatisées à flux continu, notions pratiques et théoriques, exemple d'application. Thèse Doctorat de 3 ^e cycle, spécialité chimie, Université de Nice | |
| VEGLIA (A.), VAISSIERE (R.), 1986. – Seasonal variations of heavy metals concentrations and sea-urchins sampled near a harbour area, Rapp. Comm. int. mer Médit., 30, (2) | 113 |

II.

LABORATOIRE DE NEUROBIOLOGIE MOLÉCULAIRE

| | |
|---|-----|
| SEGU (L.), BOISSON (M.), CHALAZONITIS (N.), 1971. – Concentration intraneuronique de noradrenaline en fonction des concentrations extérieures (Neurones d'Aplysia). C.R. Soc. Biol., 165, 4, p. 922 | 117 |
| BOISSON (M.), CHALAZONITIS (N.), 1972. – Abolition by noradrenaline of the waving-bursting neuronal activity (Br neuron of Aplysia fasciata). Comp. Biochem. Physiol., 41 A: pp. 883-885 | 125 |
| BOISSON (M.), CHALAZONITIS (N.), 1973. – Réactivités bioélectriques propres à un neurone géant sécrétoire. C.R. Acad. Sci., Paris, D: pp. 1025-1028 | |

- BOISSON (M.), 1973. – Variations distinctes de l'oscillabilité consécutive à l'hyperpolarisation de quelques neurones géants sécrétoires par la noradrénaline. Thèse Doctorat 3^e cycle, Université Paris IV, spécialité Océanographie biologique 128
- CHALAZONITIS (N.), BOISSON (M.), 1973. – Niveau de NA exogène dans le neurone géant "A" d'*Aplysia* au cours de modifications de l'électrogénèse. *J. de Physiol.*, 67 (2) : pp. 256 A-257 A 128
- CHALAZONITIS (N.), BOISSON (M.), 1973. – Effets rémanants de chocs thermiques sur l'activité synaptique ou la stabilité du potentiel des neurones identifiables d'*Aplysia*. Etude en voltage imposé *J. de Physiol.*, 69 (1), p. 154 128
- GOLA (M.) BOISSON (M.), 1974. – Ondes salves induites par les catécholamines sur un neurone géant sécrétoire d'*Aplysia*. *J. de Physiol.*, 67 (3), p. 353 A 129
- CHALAZONITIS (N.), BOISSON (M.), 1975. – Récupération d'électrogénèse neuronale après un électrochoc, *J. de Physiol.*, 71 (2) : p. 327 A 129
- BOISSON (M.), 1975. – Interprétation nerveuse de troubles de motricité anormale résultants de pollution thermique, 2^e Journée d'Etude sur les Pollutions Marines (Monaco, Déc. 1974), *Rapp. & Proc. Verb. C.I.E.S.M.* : pp. 123-125 130
- BOISSON (M.), CHALAZONITIS (N.), 1976. – Stabilization of bursting neurons by exogenous catecholamines during intracellular accumulation, in *Neurobiology invertebrate. Gastropod. brain*, Tihany, 1975 : pp. 425-435 133
- BOISSON (M.), GOLA (M.), 1976. – Current voltage relations in ILD or Dopamine stabilized bursting neurons in *Aplysia*. *Comp. Biochem. Physiol.*, 54 C : pp. 109-113 133
- CHALAZONITIS (N.), BOISSON (M.), 1978. – Abnormal neuronal discharge. Raven Press. Ed. des Actes du Symposium de Monaco, 12-13 Juillet 1977 138
- BOISSON (M.), GOLA (M.), 1978. – Dual effects of catecholamines on burst production by *Aplysia* neurons in abnormal neuronal discharge. N. CHALAZONITIS, M. BOISSON edi. Raven Press, New York 138
- CHALAZONITIS (N.), BOISSON (M.), ROME-TALBOT (D.), CHAGNEUX (R.), 1982 – Electroshock afterdischarges are related to neuronal oscillability : Neuronal models of *Aplysia*. *Brain Research*, 248 : pp. 257-266. Elsevier Biomedical Press 146
- CHALAZONITIS (N.), CHAGNEUX (R.), 1978. – Diminution de biréfringence du nerf anyélinique du crabe synchrone au potentiel de longue durée, obtenue par métrazol. *J. de Physiol.*, Paris, 1978 146
- CHALAZONITIS (N.), 1978. – Dual control of CAs on electrical oscillability, stability of identifiable neurons. In *Catecholamines basic and clinical frontiers*. Pergamon Press 146
- ROME (D.), ANDRE (D.), CHALAZONITIS (N.), 1978. – Hypothermic decrease in neurotubule density and birefringence in unmyelinated axons. *J. Neurobiol.*, 9 (4) : pp. 247-254 146



I. LABORATOIRE D'ÉTUDES DES POLLUTIONS MARINES

Une bouée de télémessure et sa station interrogatrice installées à Monaco*

par

JEAN JAUBERT, JEAN-JACQUES PESANDO et RAYMOND VAISSIÈRE

*Laboratoire de Biologie générale, Nice (France)
et Centre scientifique, Monaco (Principauté)*

Cet ensemble a été conçu et construit pour :

1. — acquérir de très nombreuses données physico-chimiques sur une station océanographique de la province néritique sous une forme autorisant un traitement automatique.

2. — avoir à tout moment accès aux données afin de contrôler le bon fonctionnement des senseurs et déceler éventuellement un phénomène ou une anomalie relativement fugaces.

La bouée est mouillée au-dessus de l'emplacement prévu pour l'ouverture du grand émissaire de la Principauté de Monaco afin de connaître la vitesse et la direction du courant ainsi que la température de l'eau à 90 mètres de profondeur et à un kilomètre du rivage.

La station d'interrogation est installée au Musée océanographique à environ 3 kilomètres de la bouée.

I — Descriptions

1. — *La bouée*

C'est un cylindre en P.V.C. de 30 centimètres de diamètre et 4 mètres de long. La partie supérieure amovible porte l'antenne et un feu de signalisation.

A l'extérieur et à mi-hauteur, 4 connecteurs destinés aux capteurs sont protégés par une rembarde métallique fixée au collier de mouillage.

A l'intérieur, deux caissons étanches sont superposés. Le premier contient les batteries; le second, supérieur, contient le poste émetteur-récepteur, les circuits d'asservissement, la centrale de mesure. Les alimentations sont séparées, toutes les connexions sont étanches.

2. — *Les senseurs*

La bouée est actuellement équipée avec un courantomètre Plessey modifié. Trois entrées multiples sont encore disponibles pour recevoir différents types de senseurs (lumière, pH, oxygène, salinité, etc.).

3. — *La station terrestre d'interrogation*

Elle comprend une horloge numérique, un poste émetteur-récepteur, les circuits de contrôle et de traitement des signaux émis par la bouée, un enregistreur à ruban perforé.

II — Fonctionnement

1. — *La bouée*

Le fonctionnement est séquentiel. Chaque séquence comporte 3 états : repos (pré-réglé), écoute, émission.

* Communication présentée par M. R. VAISSIÈRE.

En état de repos, la bouée ne peut être interrogée tant que la minuterie interne ne la met pas en écoute quelques instants avant le signal d'appel de la station terrestre. Après cet appel, elle passe en émission et le demeure tant que des informations sont présentées à l'émetteur. Le message terminé, elle se remet en état de repos jusqu'à la séquence suivante. Les voies de mesures sont explorées successivement de façon cyclique. Lorsqu'une voie est commutée, le signal analogique délivré par le capteur est transformé en un mot de 10 bits.

2. — *La station terrestre d'interrogation*

L'horloge numérique déclenche l'interrogation par l'intermédiaire d'un dispositif d'appel sélectif. Les signaux sont décodés, mis en mémoire mot par mot, puis enregistrés avec le jour, l'heure et la minute, par perforation de bande en code DCB (digital code binaire). Un dispositif automatique contrôle la validité de chaque séquence. En cas d'erreur (bits surnuméraires ou déficitaires), un indicatif d'invalidation est perforé.

3. — *Autonomie de la bouée*

Un mois.

III — Conclusion

L'ensemble présente plusieurs qualités : il répond aux objectifs fixés; il est fiable; la bouée est petite, facile à mettre en œuvre et robuste, car elle a parfaitement résisté aux tempêtes de 1971 et 1972.

Il n'est pas nécessaire de souligner l'intérêt de ces systèmes et les multiples utilisations en recherches océanographique ou limnologique.

En ce qui concerne la surveillance des états de pollution d'un milieu aquatique, de très nombreuses versions simplifiées peuvent être adaptées à chaque problème.

A propos d'une expérience de localisation,
par traceurs et photographie aérienne,
de rejets en mer dans la région de Monaco*

par

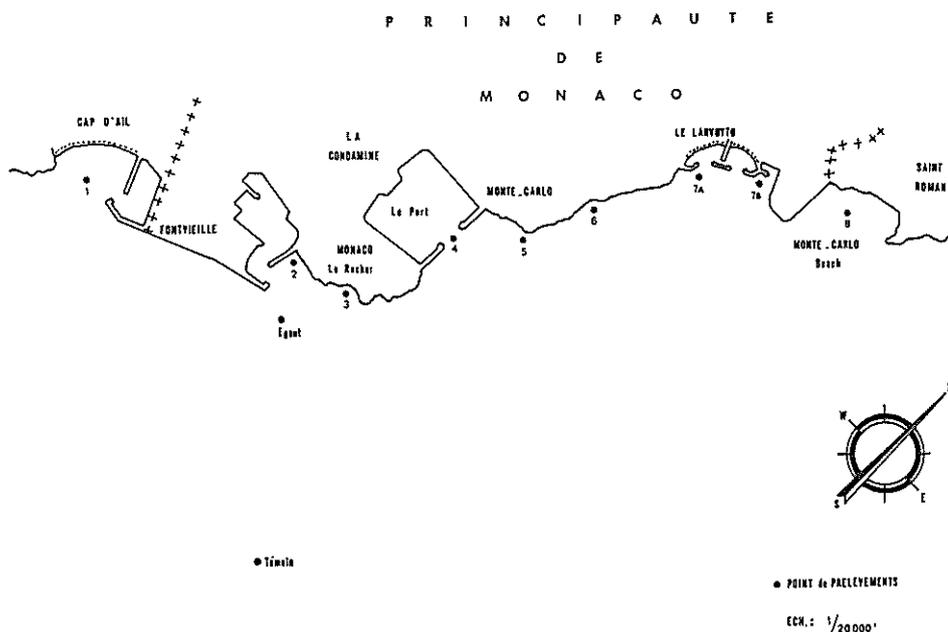
RAYMOND VAISSIÈRE**, JACQUES SÉMÉRIA***, EVELYNE SCHOMMERS***
et MICHEL BOISSON***

** Centre scientifique (Monaco) et Laboratoire de Biologie générale,
Université de Nice (France)

*** Centre scientifique (Monaco)

Des analyses bactériologiques (Colimétrie, Streptocoques fécaux, Salmonelles) ont été faites régulièrement pendant 5 ans sur des séries de 9 stations distribuées à la verticale de l'isobathe 10 mètres, le long de la côte de la Principauté de Monaco.

Sur 96 opérations, 62 montrent une diminution progressive, plus ou moins bien marquée, du nombre de germes à partir du rejet de l'unique collecteur situé à l'extrémité sud de la côte (station 2) jusqu'à la station la plus éloignée à l'est.



* Communication présentée par M. R. VAISSIÈRE.

34 montrent la même diminution générale avec cependant des anomalies aux stations 7 et 7B qui sont deux alvéoles avec chacune une plage artificielle.

Parmi toutes les hypothèses avancées pour expliquer cet accroissement anormal très localisé, l'une d'entre elles paraît la plus vraisemblable : un déversoir d'orage situé à proximité et recueillant les eaux de ruissellement de deux vallons est probablement utilisé pour l'évacuation des eaux usées.

Afin de confirmer l'hypothèse, une expérience utilisant des traceurs suivis par photographies aériennes et des mesures de courant a été mise en place.

L'origine possible d'une pollution anormale est effectivement mise en évidence. En outre, cette expérience montre :

1. L'intérêt de la colimétrie qui permet d'orienter les recherches à condition que les prélèvements soient nombreux et réguliers.

2. L'intérêt des traceurs flottants qui, selon leur taille, leur forme, par extension leur flottabilité, se comportent différemment. Cette observation doit nous rendre prudents dans le choix d'un système de traitement et de rejets de résidus non liquides.

3. L'intérêt de traceurs colorés qui dessinent les cheminements d'une nappe d'eau douce soumise à un régime de surface complexe à proximité de la côte.

Une seule expérience n'est pas suffisante, mais elle permet d'esquisser une méthodologie. Elle souligne la nécessité : d'utiliser des traceurs de différents types, de mettre en place des systèmes d'enregistrement permanent de courants et de connaître parfaitement les conditions météorologiques si l'on veut connaître la destinée des différents composants des eaux usées.

Remarques sur le dosage des détergents anioniques en eau de mer

par

ROLAND PUCCI et RAYMOND VAISSIÈRE

Centre scientifique de Monaco - Musée océanographique, Monaco

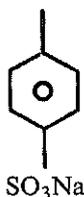
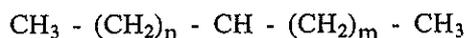
Abstract

Anionic detergents in sea water are dosed by atomic absorption. Without sterilization breakdown of concentration occurs. On the other hand anionics - ovalbumin interaction is considered. The chemical preservation by acidulation is made at the sampling time.

*
* *

Les deux méthodes de dosage des détergents anioniques les plus couramment employées sont la méthode colorimétrique et la spectrophotométrie d'absorption atomique.

Nous les avons comparées en utilisant un ABS non ramifié fourni par la firme Unilever se présentant sous la forme d'une pâte contenant 42 % de produit pur, de poids moléculaire 344 et répondant à la structure suivante :



où $n + m = 9$ à 15

Sur des solutions faites dans l'eau distillée, les mesures par colorimétrie ne sont reproductibles que pour des concentrations comprises entre $100 \mu\text{g}$ et $1250 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ alors que la spectrophotométrie d'absorption atomique [Méthode de LE BIHAN *et al.*] permet de déceler des concentrations de l'ordre de $10 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$.

Nous avons ainsi choisi la seconde méthode pour des dosages du même détergent en eau de mer. Nous avons alors constaté que les résultats de plusieurs analyses espacées de quelques heures pour une même solution étaient différents et montraient une décroissance de la teneur en ABS, sans que l'on puisse pour autant conclure à une dégradation du produit.

Deux séries parallèles d'expériences ont alors été faites.

Première série : L'eau de mer a été filtrée sur millipore ($0,45 \mu\text{m}$) et plusieurs échantillons ont été préparés et analysés toutes les 48 heures pendant 12 jours. On a constaté une instabilité des solutions et une diminution progressive de la concentration en ABS.

Seconde série : L'eau de mer a été filtrée sur millipore ($0,45 \mu\text{m}$) puis stérilisée à l'autoclave. Les analyses pratiquées toutes les 48 heures et pendant 12 jours ont montré la parfaite stabilité des solutions et la reproductibilité des mesures.

La disparition progressive de l'ABS dans une eau de mer non filtrée pourrait être attribuée aux micro-organismes et correspondrait dans ces conditions à une véritable bio-dégradation. Cependant, cette interprétation ne peut être retenue dans le cas de l'eau de mer filtrée sur une maille de 0,45 μm . Il n'est pas impossible que des organismes de taille inférieure aient pu traverser le filtre de même qu'il n'est pas exclu que les récipients recevant l'eau filtrée et les manipulations ultérieures aient été à l'origine d'un ensemenement accidentel du milieu. Ce dernier point est encore à vérifier.

Les travaux de DECKER *et al.* nous ont fait penser qu'il pouvait y avoir une adsorption progressive de l'ABS par des macromolécules de type protidique. Quelques expériences avec de l'albumine d'œuf ont montré qu'il était possible de soustraire à l'analyse les ABS d'une solution en constituant un complexe Albumine-tensio-actif mais les données que nous avons sont encore trop fragmentaires et doivent surtout être complétées par une étude rigoureuse des conditions de pH et d'expérimentation.

Ces résultats montrent l'importance de la bonne conservation de l'échantillon pour la valeur des résultats d'analyse. Les expériences test en laboratoire ont mis en évidence la nécessité d'une stérilisation mais il est évident que celle-ci est impossible par autoclave lorsqu'il s'agit de détecter les ABS en mer. Afin de pallier cet inconvénient, nous avons utilisé des fixateurs chimiques susceptibles d'arrêter tout processus métabolique et de dénaturer les éventuels peptides ou macromolécules dans l'échantillon.

Des essais avec le Chlorure mercurique ont donné des résultats satisfaisants. A 10 ppm la concentration d'ABS diminue, à 100 ppm des précipités apparaissent. La quantité optimum est de 50 ppm pour une conservation de l'échantillon de l'ordre de 2 semaines et il n'y a pas d'interférence du sel mercurique lors de la mesure.

Étant donné que la première phase de la technique de mesure (spectrophotométrie par absorption atomique) comporte une acidification, une autre série d'essais a été faite avec de l'acide chlorhydrique. L'introduction de 1 % d'HCl normal dans l'échantillon est suffisante pour le conserver. L'ajustement du pH à 2 s'effectue ultérieurement au laboratoire.

Références bibliographiques

- DECKER (R.V.) & FOSTER (J.F.), 1966. — The interaction of bovine plasma albumin with detergents anions. Stoichiometry and mechanism of binding of ABS. *Biochemistry (ACS)*, **5**, pp. 1242-1254.
- DECKER (R.V.) & FOSTER (J.F.), 1967. — Amphoteric behavior of bovine plasma albumin and its detergent complexes. *Journal of Biological Chemistry*, **242**, pp. 1526-1532.
- LE BIHAN (A.) & COURTOT-COUPÉZ (J.), 1970. — Dosage des traces de détergents anioniques et cationiques dans l'eau de mer et dans les eaux douces par spectrophotométrie d'absorption atomique. *Bulletin de la Société Chimique de France*, **1**, pp. 406-411.

ANALYSE TEMPORELLE DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA MER
DANS LA BAIE DE MONACO

par

N. BETHOUX, Centre Scientifique de Monaco
F. IBANEZ, Station Marine de Villefranche S/Mer

RESUME

Une analyse temporelle de la température de surface de la mer, dans la baie de Monaco, a été effectuée à partir de 15 ans de mesures journalières de 1946 à 1961. Les variations de la température de la mer reflètent l'évolution générale du climat pendant cette période.

Des oscillations caractéristiques déjà mises en évidence dans d'autres régions océaniques ont été déduites de l'analyse spectrale. Les conséquences de ces fluctuations du climat peuvent être observées sur le régime hydrologique de la région. La fréquence des données permet également la prédiction à court terme des variations de température.

ABSTRACT

A time analysis of the sea surface temperature in Monaco's bay has been carried out, using a fifteen years series of measurements made from 1946 to 1961.

By spectral analysis the same characteristic waves are calculated which have been found by other authors in different oceanic regions. Moreover, we have shown the existence of short period waves. The daily frequency of the data has also allowed the prediction in short time of the variability of sea surface temperature.

The variation of the sea temperature follow the general climatic fluctuations of the same time. The consequences of these climatic changes can be observed in the hydrological system of the Ligure sea.

°
° °

I - INTRODUCTION

A Monaco, des mesures quotidiennes météorologiques sont effectuées depuis 1911. De mars 1946 à janvier 1961, la température de surface de la mer a été également relevée tous les jours.

Nous avons entrepris l'exploitation de ces séries de données et présentons, ici, nos premiers résultats concernant surtout l'étude de la température de la mer ; la fréquence des mesures a permis d'en effectuer l'analyse chronologique à différentes échelles de temps : mois, semaine, quinzaine, donc d'obtenir une structure fine des variations temporelles.

II - ANALYSE STATISTIQUE DE LA TEMPERATURE DE LA MER

Pour les 3 échelles de temps, la composante saisonnière des moyennes obtenues a été éliminée en calculant l'écart de chaque valeur par rapport au

cycle annuel moyen.

Ainsi la moyenne annuelle sur 15 ans de la température de la mer, T_s a pu être mise sous la forme d'une fonction périodique du temps T , T variant de 0 à 12 mois, T_s étant exprimé en degré celsius :

$$T_s = 18,23 - 5,77 \cos \left(\frac{\pi t}{6} - \frac{\pi}{3} \right)$$

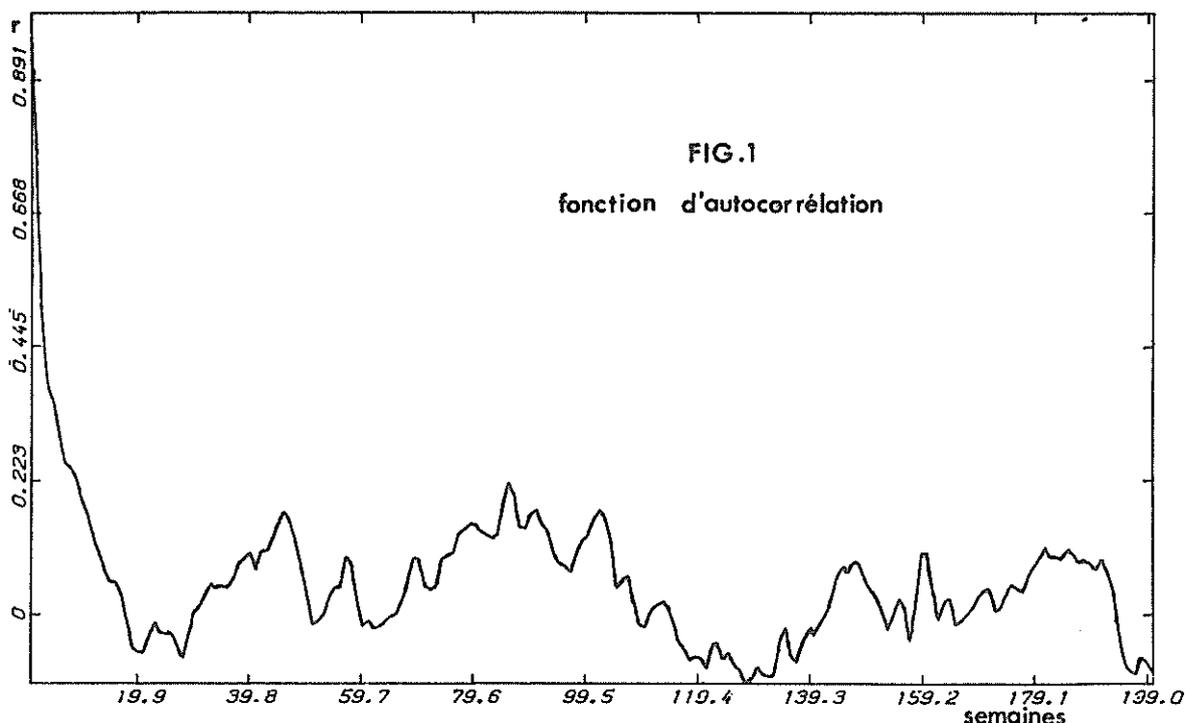
Par rapport à cette moyenne, l'amplitude maximale des fluctuations est de $1,8^\circ\text{C}$ (juillet 1954). Par rapport aux moyennes hebdomadaires, les écarts varient en général de 0 à $1,5^\circ\text{C}$ mais peuvent atteindre exceptionnellement 3°C (dans 4 cas sur 778).

Le calcul du coefficient de variation $c(T)$, renseigne sur l'homogénéité des mesures :

$$c(T) = \frac{\delta(T)}{\bar{x}(T)} \quad \text{avec } \delta(T) : \text{écart type au temps } T \\ \bar{x}(T) : \text{moyenne au temps } T$$

D'une année à l'autre, on trouve pour les trois séries étudiées des valeurs assez semblables pour $c(T)$. La phase d'hétérogénéité maximale correspond au printemps et à l'été, alors qu'en début d'hiver on obtient des valeurs de $c(T)$ particulièrement faibles. Ainsi, pour les moyennes par quinzaine $c(T)$ est de l'ordre de 0,04 en hiver, de 0,110 en fin de printemps. Ces effets saisonniers sont à relier au cycle thermique annuel de la courbe superficielle de la mer.

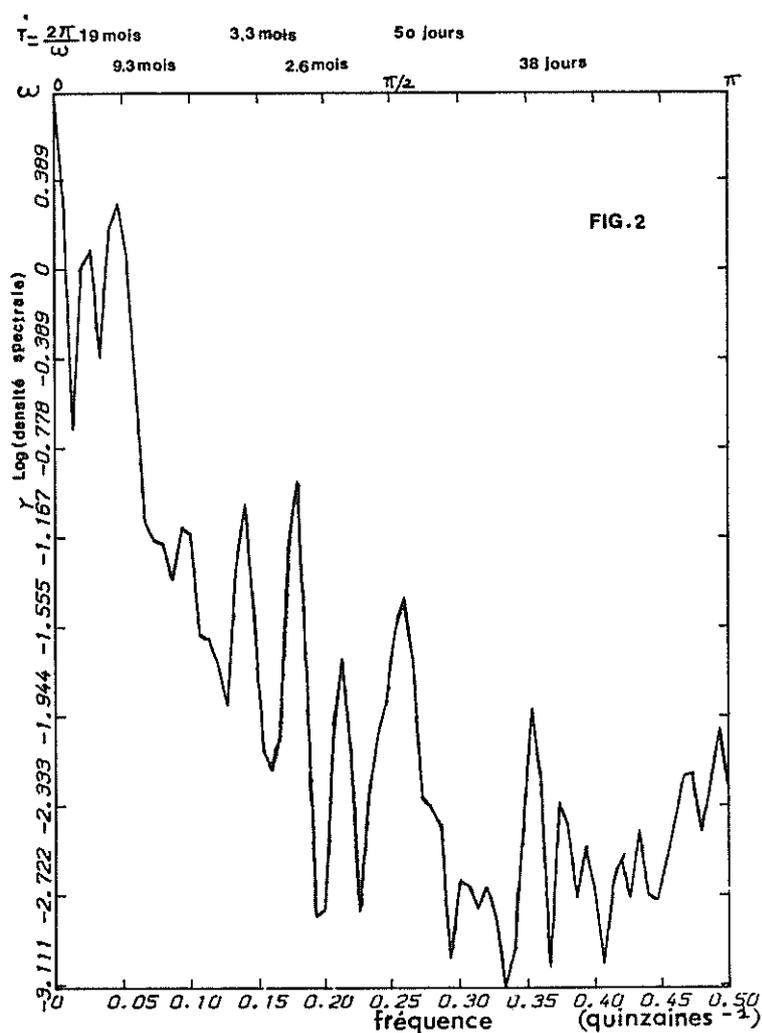
Le test de SWED et EISENHART, d'existence de relations temporelles, montre que les fluctuations obtenues au cours du temps ne sont pas aléatoires. Pour les 3 séries étudiées, les corrélogrammes ont été tracés et montrent en effet des corrélations satisfaisantes. Par exemple, (Figure 1), pour les moyennes hebdomadaires, le coefficient d'autocovariance ne s'annule qu'au bout de 20 semaines.



La température de surface de la mer, de 1946 à 1961, n'est pas purement stationnaire : une légère tendance au refroidissement apparait vers les années 56, 57, 58 et, surtout, une forte anomalie négative des écarts à la moyenne correspond à l'été 54. On peut donner une évaluation de la tendance, confirmée par le test de corrélation de rang de SPEARMAN, en calculant l'équation de la droite de régression des températures en fonction du temps :

$$x(T) = aT + e(T) \quad \text{avec } a = - 0,0013$$

L'analyse spectrale a été effectuée sur les séries de moyennes hebdomadaires et par quinzaine. Sur les différents spectres obtenus en faisant varier les paramètres de lissage, on a mis en évidence plusieurs pics significatifs : la figure 2 représente un des spectres déduits de l'analyse spectrale des moyennes par quinzaine (pour 100 fréquences différentes).



La recherche d'ondes de longues périodicités a nécessité le tracé de divers périodogrammes de la série des moyennes par quinzaine, à laquelle on a appliqué un filtre passe-bas.

Au total, les ondes déduites des différents spectres et périodogrammes ont pour période :

$2 \leq T \leq 3$ quinzaines
 $3,4 < T < 3,9$ quinzaines
 $7 < T < 10$ quinzaines (soit 4,5 mois environ).
 $19 < T < 20$ quinzaines (soit 10 mois environ)
 $37 < T < 45$ quinzaines (soit 20 mois environ).
 enfin un pic de 107 quinzaines environ (soit 53 mois).

Les tables de χ^2 donnent les valeurs de l'intervalle de confiance à 95% :

$$\left(\frac{\chi^2_{0.95}}{\kappa} \cdot (\omega_j) ; \frac{\chi^2_{0.05}}{\kappa} \cdot (\omega_j) \right)$$

κ étant le nombre de degrés de liberté réduit ;

(ω_j) , la densité spectrale pour la pulsation ω_j
 (méthode utilisée entre autres par GRANGER et HATANAKA, 1964).

III - ESSAI DE PREDICTION DE LA TEMPERATURE DE LA MER

La dépendance entre la valeur d'une variable au temps T et les valeurs antérieures, est une caractéristique pouvant servir à la prédiction. Lorsqu'une valeur x_t est liée linéairement aux valeurs précédentes, on a le modèle autorégressif suivant :

$$x_t = a_1 x_{t-1} + a_2 x_{t-2} + \dots + a_n x_{t-n} + u_t$$

où les a_k désignent les coefficients de la régression, les x_{t-k} les valeurs précédentes, ρ le plus grand décalage inclus dans le modèle, u_t un terme d'erreur au temps t. Si u_t est une variable aléatoire telle que $E(u_t) = 0$, $E(u_t \cdot u_s) = 0$ avec $t \neq s$, et $E(u_t^2) = \sigma_u^2$ (c'est-à-dire, si les $u(t)$ sont distribués de façon identique, s'ils sont indépendants entre eux, de moyenne nulle et de variance constante) le processus autorégressif est acceptable. Les coefficients d'autorégression partielle, a_k , peuvent être facilement calculés sans recourir à des inversions matricielles, par la procédure itérative donnée par DURBIN (1960).

Bien que la tendance faiblement décroissante de notre série n'est pas un biais très important comme l'ont montré nos différentes évaluations empiriques, la non-stationnarité a limité la portée du modèle ci-dessus. C'est pourquoi, comme le recommandent BOX et JENKINS (1976) nous avons préalablement calculé les différences successives entre les valeurs de la série. Le modèle s'écrit alors :

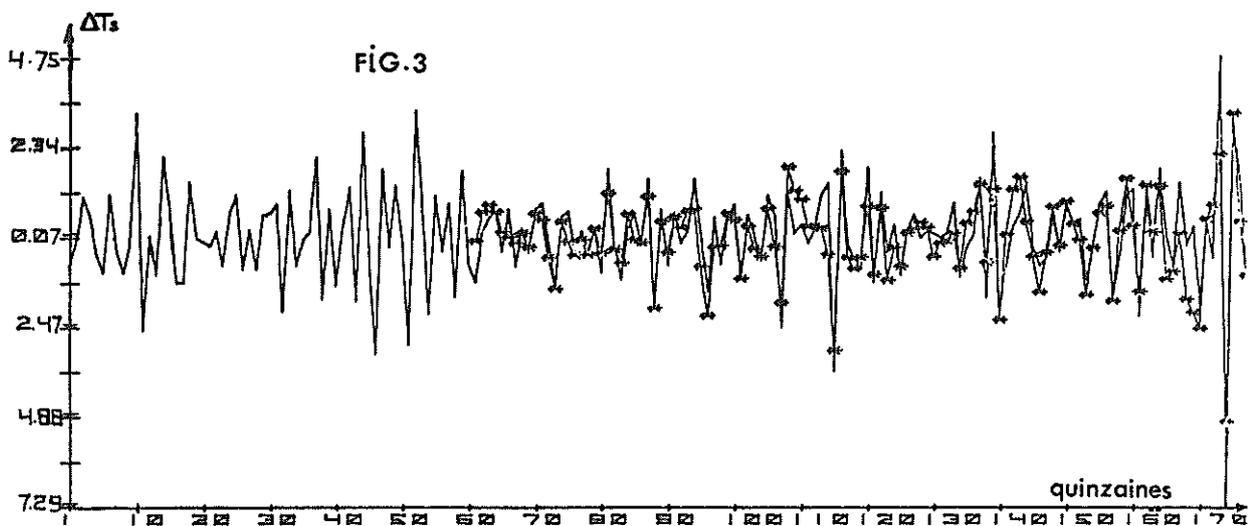
$$x_t - x_{t-1} = a_1 (x_{t-1} - x_{t-2}) + a_2 (x_{t-2} - x_{t-3}) + \dots + a_n (x_{t-n+1} - x_{t-n}) + (u_t - u_{t-1})$$

JONES (1964) préconise pour connaître le décalage maximal utile, ρ , de calculer à chaque pas la variance des u_t . Lorsque la différence entre deux variances successives devient non significative (testée par un χ^2) il n'y a pas lieu d'augmenter le nombre de termes. Cependant, une amélioration non significative du modèle détectée par ce test à une étape donnée, n'entraîne pas systématiquement la non signification si on continue plus avant la procédure. Il est donc plus rigoureux de continuer les itérations jusqu'à ce que plusieurs tests suc-

cessifs soient non significatifs.

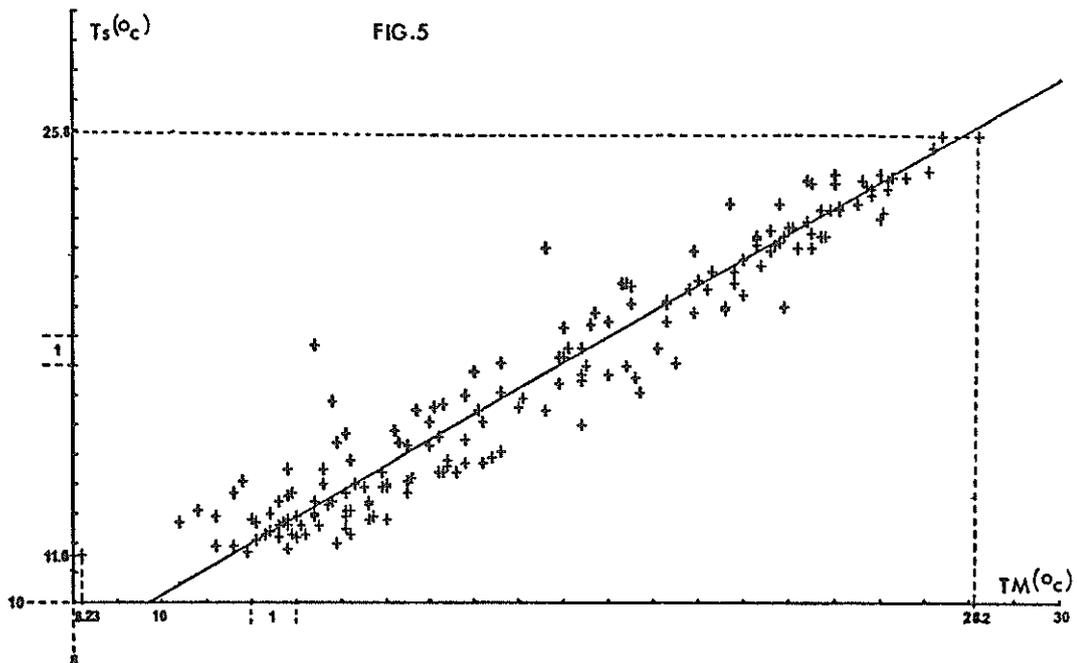
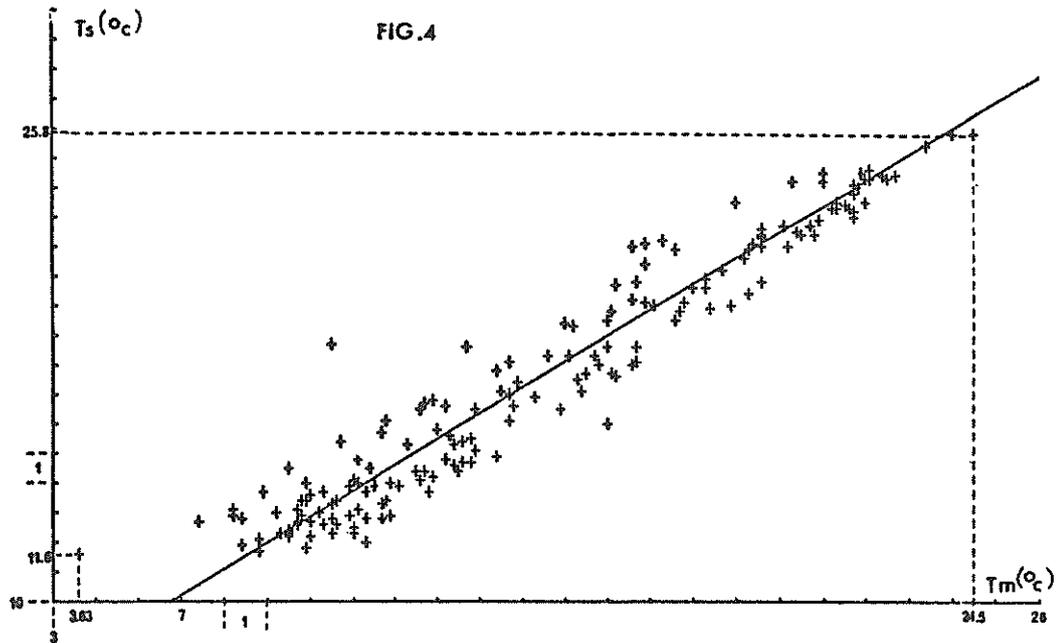
La Figure 3 montre la prédiction obtenue à partir d'un décalage de 60 quinzaines. Chaque valeur prédite est obtenue par une régression calculée à partir des 60 mesures précédentes observées.

Nous avons donc la prédiction uniquement de la valeur suivante comparée aux résultats enregistrés. Nous pouvons constater que notre modèle rend bien compte des fluctuations en température d'une quinzaine sur l'autre. (Les 60 coefficients du modèle peuvent être demandés aux auteurs).

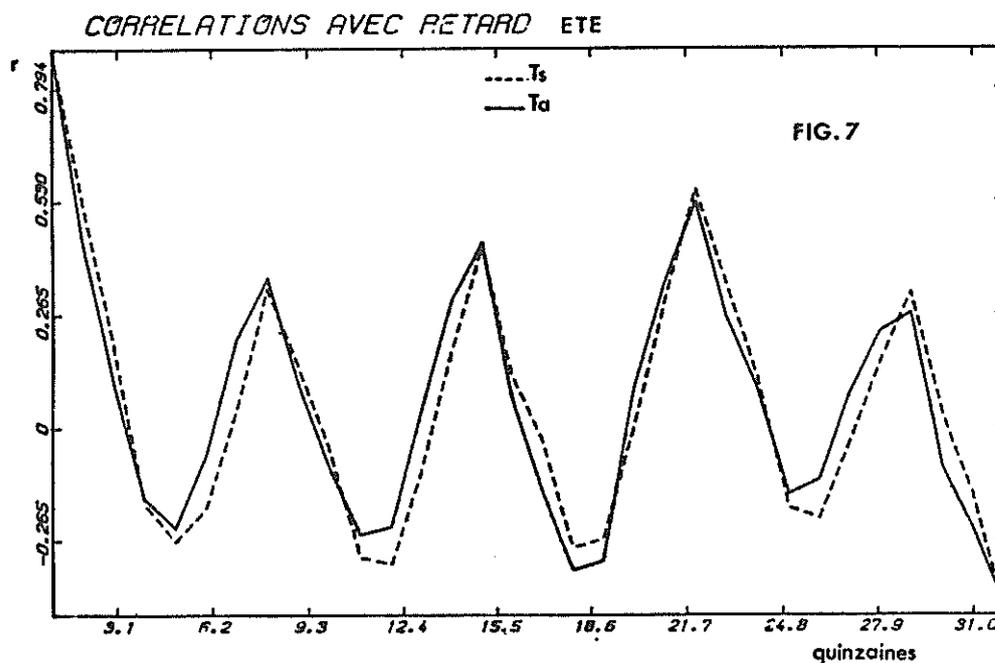
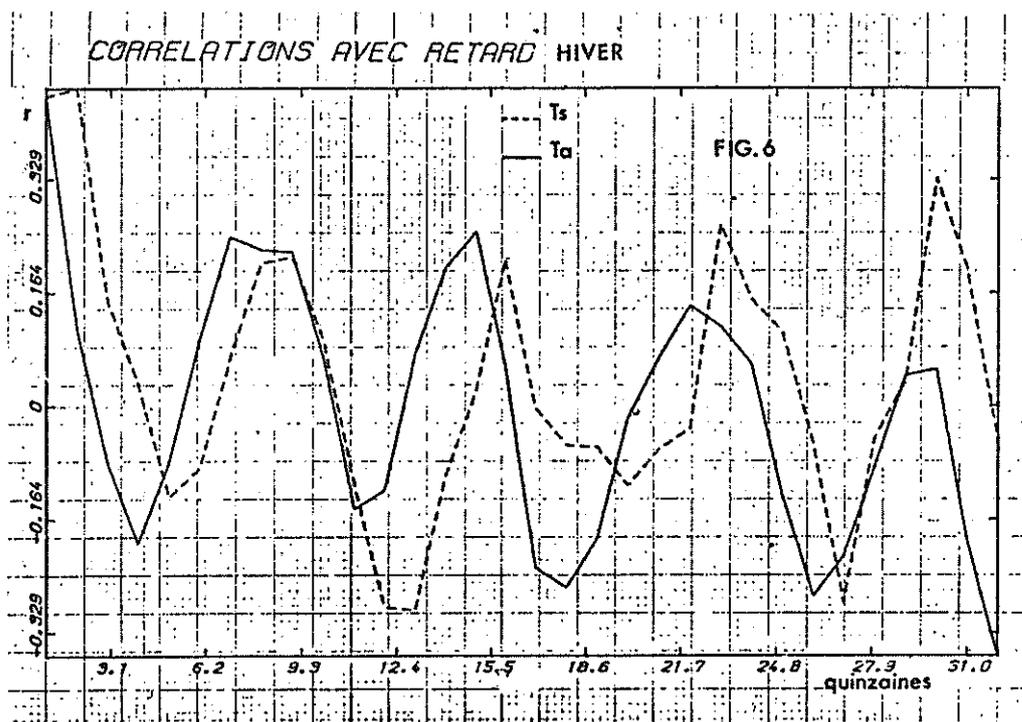


IV - RELATIONS ENTRE LA TEMPERATURE DE LA MER ET LA TEMPERATURE DE L'AIR

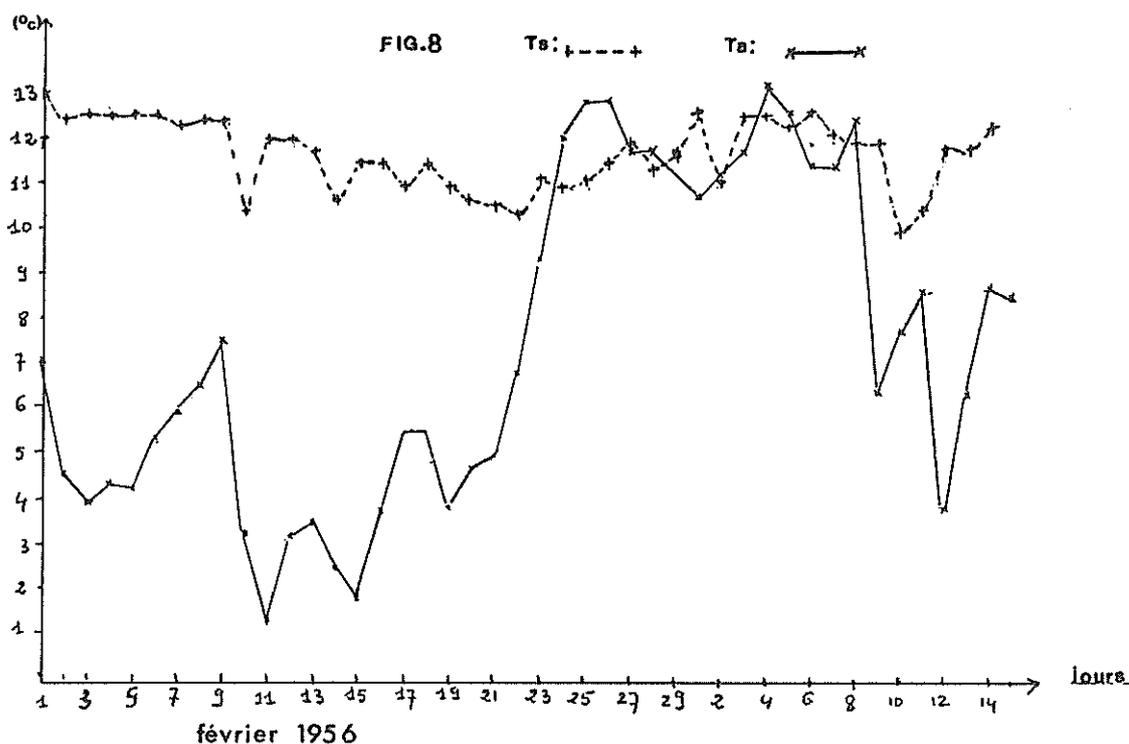
Les moyennes mensuelles des minima, T_m , et des maxima, T_M , de la température de l'air ont été reliées à celle de la température de la mer (Figures 4 et 5). Le coefficient de corrélation est de 0,964 entre T_S et T_m et de 0,960 entre T_S et T_M . D'après le test t, ces coefficients sont significatifs à 1%.



Température de l'air et température de la mer s'influencent différemment suivant la saison. On a calculé les corrélations croisées entre ces deux paramètres, pris en moyenne hebdomadaire : la réponse de la mer aux variations de la température de l'air est en retard d'environ 10 à 15 jours au début de l'été, mais n'est plus décalée que d'une semaine maximum au moment du refroidissement (octobre) ; par contre, en fin d'hiver, le retard atteint 1,5 mois. (Figures 6 et 7).



La fréquence des mesures permet de suivre, jour après jour, la réponse de la mer à une brutale variation de la température de l'air, sur des exemples précis : ainsi en février 1956 (Figure 8), T_a a diminué de $7,5^\circ\text{C}$ à $1,3^\circ\text{C}$ en deux jours alors que T_s est passée de 13°C à $10,5^\circ\text{C}$ en 20 jours.



V - INTERPRETATION DES RESULTATS

Une grande analogie apparait entre nos résultats et ceux de J. SERVAIN (1976), concernant une étude chronologique des températures de la mer, en Atlantique nord, dans la zone ($47^\circ\text{N} - 52^\circ\text{N}$, $4^\circ\text{W} - 9^\circ\text{W}$). Cet auteur a trouvé des ondes de période de 4,7 mois, environ, 7,5 mois, 21 à 23 mois, 60 mois, environ, à partir de données très différentes des nôtres : des valeurs de température de la mer, relevées à bord de navires de 1854 à 1973 (4730 stations) dans une zone géographique étendue avec une fréquence de mesures irrégulières ; une méthode de lissage a permis le calcul des moyennes mensuelles par carreau Marsden. Nos résultats proviennent, rappelons-le de l'exploitation de 5450 relevés journaliers, mais correspondant à un temps limité, à une station fixe, mais littorale.

SARUKHAYAN & SMIRNOV (1970) ont également mis en évidence une onde d'environ 5 ans, dans une série de température de surface dans la mer de Barents.

Ces analogies dans les variations de la température de la mer de zones aussi différentes du point de vue caractéristiques hydrologiques et climatiques peuvent être reliées, selon certains auteurs, à la circulation générale troposphérique, présentant notamment un cycle de 2 ans (SERVAIN 1976). De même, l'onde de T_s de période 5 mois, environ, pourrait être due à la circulation zonale de l'atmosphère présentant un cycle semi-annuel. Les ondes de hautes fréquences semblent liées à des oscillations de la pression atmosphérique (GACIC 1976). On peut faire également le parallèle entre les différentes périodes trouvées pour la température de la mer et les cycles solaires : 55 mois, 21 mois, 9,8 mois.

L'évolution dans le temps de la température de surface est comparable aux résultats de FIEUX et STOMMEL (1975), pour la même période, au large des Bermudes, dans la zone (30°N - 40°N, 50°W - 60°W) ; à une latitude proche de celle de Monaco, l'amplitude des fluctuations rencontrées peut y atteindre également 1,5°C.

Le refroidissement de 1950 à 1960 a été observé de manière générale dans tout l'hémisphère nord et selon BUDIKO (1974) il pourrait être rattaché à une diminution de l'apport solaire au sol. A Monaco, la durée d'insolation n'a pas été enregistrée systématiquement pendant la période 1946-1961 ; on note cependant, des valeurs croissantes jusqu'en 1949 (2023,4 heures en 1949) ; les enregistrements des années 1959, 1960, 1961, mettent inversement en évidence une décroissance régulière (2098,0 heures, 1817,5 heures, 1767,6 heures) ; on doit, bien sûr, en conclure pour la mer un apport thermique variable.

VI - CONSEQUENCES HYDROLOGIQUES

Pendant la période étudiée, on a noté des saisons particulièrement chaudes (juillet 52) ou froides (hiver 56) avec des valeurs extrêmes pour T_a et T_s : $T_a = 5,93^\circ\text{C}$, $T_s = 11,6^\circ\text{C}$ et $T_a = 26,37^\circ\text{C}$, $T_s = 25,8^\circ\text{C}$. A-t-on décelé ces fluctuations climatiques dans les études océanographiques faites pendant cette période ?

L'hiver froid 56 a été très comparable à l'hiver 63 pendant lequel a été mis en évidence la formation d'eau profonde (LACOMBE et TCHERNIA 1971). A notre connaissance, aucune mesure hydrologique en mer Ligure n'a été publiée pour les mois de février-mars 56. Mais, une station de la "Calypso", au large de Monaco, en septembre 56, révèle une eau particulièrement froide (13,05°C) entre 75 et 150 m, indice de grands échanges thermiques l'hiver précédent. BOUGIS et CARRE (1960) ont noté la légère décroissance des températures de 1956 à 1959, au large de Villefranche jusqu'à une immersion moyenne de 100 mètres. La douceur relative de l'hiver et du printemps 60 par rapport au printemps 58 (mars 60 : $T_s = 13,7^\circ\text{C}$, $T_a = 12,2^\circ\text{C}$; mars 58 : $T_s = 12,3^\circ\text{C}$, $T_a = 10,3^\circ\text{C}$) a pour conséquence une structure thermique différente entre 100 et 200 m. (GOSTAN 1961) : en avril 60 on a une couche d'eau n'ayant pas été affectée par le refroidissement hivernal, contrairement à l'année 58.

VII - CONCLUSION

Les relevés quotidiens de la température de la mer à Monaco ont permis de retrouver pour la Méditerranée des oscillations caractéristiques déjà mises en évidence dans d'autres régions océaniques donc de confirmer leur caractère général (lié, semble-t-il, à des phénomènes atmosphériques).

La fréquence des mesures a autorisé une analyse particulièrement fine des variations temporelles de la température de la mer (apparition d'ondes de courtes périodes sur les spectres) tout à fait suffisante pour définir des prédictions à court terme. Elle permet également de suivre jour après jour la réponse de la mer à une impulsion météorologique (baisse brutale de la température de l'air, coup de vent, etc.). L'étude des différents paramètres mesurés simultanément doit donner dans l'avenir une vision plus synthétique des échanges air-mer dans la baie de Monaco.

Les températures de la mer étant relevées à la côte, les fluctuations obtenues par rapport aux valeurs moyennes sont assez importantes mais on a pu cependant y retrouver nettement les conséquences des variations climatiques de 1946 à 1961.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUGIS (P.) & CARRE (C.), 1960. - Conditions hydrologiques à Villefranche S/Mer pendant les années 1957-1958. Cah. Océanogr., 12, 6, pp. 392-408.
- BOX (G.E.P.) & JENKINS (G.M.), 1976. - Time series analysis. Holden day Ed. San Francisco. pp. 1-575.
- BUDIKO (M.I.), 1974. - Climate and life. Academic Press. pp. 1-507.
- DURBIN (J.), 1960. - The fitting of time series models. Rev. Int. Inst. Stat., 28, pp. 233-244.
- FIEUX (M.) & STOMMEL (H.), 1975. - Preliminary look at feasibility of using marine reports of sea surface temperature for documenting climatic change in the Western North Atlantic. J. Mar. Res., 33, Suppl., pp. 83-95.
- GACIC (M.), 1976. - Analyse spectrale des moyennes mensuelles de la pression et de la température atmosphériques pour Zagreb-Gric dans l'intervalle 1862-1972. Acta Adriatica, 17, 9, pp. 3-18.
- GOSTAN (J.), 1961. - Contribution à l'étude hydrologique de la mer Ligure. Bull. Inst. Océanogr., Monaco, 1204, pp. 1-46.
- GRANGER (C.W.J.) & HATANAKA (M.), 1964. - Spectral analysis of economic data. Princeton University Press, pp. 1-299.
- JONES (R.H.), 1964. - Prediction of multivariate time series. J. Appl. Meteorol., 3, pp. 285-289.
- LACOMBE (H.) & TCHERNIA (P.), 1971. - Le problème de la formation des eaux marines profondes. Déroulement du phénomène en Méditerranée Nord-Occidentale par hiver très froid (janvier-mars 1963). Ann. Inst. Océanogr., Monaco, 48, I, pp. 75-110.
- SARUKHANYAN (E.I.) & SMIRNOV (N.P.), 1970. - On the use of a genetic method to forecast year-to-year water temperature fluctuations in the Barents sea. Oceanology, 10, 4, pp. 471-478.
- SERVAIN (J.), 1976. - Etude statistique de l'ensemble des données hydrologiques recueillies depuis le début du siècle en mer Celtique. Rapp. 4, Univers. Bretagne Occidentale, pp. 1-143.

°
° °

Méthode d'analyse quantitative par voie automatique des tensio-actifs anioniques en eau de mer

par

Roland PUCCI et Raymond VAISSIÈRE
Centre Scientifique de Monaco, Monte-Carlo (Principauté de Monaco)

Abstract

This paper deals with an adaptation to Technicon Analyzer II of SODERGREN automatic method (1966) for quantitative analysis of anionic surfactants in sea water, using a chloroformic extraction of a water insoluble complex of methylene blue and sulfonate ion (JONES, 1946).

The analytical circuit, as short as possible, is described in details as well as reagents.

Comparisons with atomic absorption spectrophotometry techniques show that this method is quite reliable for routine analysis of numerous sea water samples (especially from 10 micrograms to 50 micrograms by liter).

Attention has been paid to interferences due to organics and inorganics compounds.

Résumé

La méthode proposée est l'adaptation à l'autoAnalyzer Technicon II des premiers travaux de JONES (extraction chloroformique d'un complexe bleu de méthylène-tensioactif anionique insoluble dans l'eau, 1946) et de la première version automatisée de SODERGREN (1966).

Le circuit analytique est ici rendu le plus court possible. Après la description détaillée du système (appareillage et réactifs) une comparaison est établie avec une méthode manuelle fondée sur la mesure en absorption atomique d'un complexe tensioactif-sel cuivrique soluble dans la méthyl-iso-butyl-cétone.

Une attention particulière est portée aux interférences possibles.

*
* *

Le dosage des tensioactifs anioniques est fondé sur l'extraction chloroformique d'un complexe bleu de méthylène-tensioactif anionique insoluble dans l'eau.

La méthode, présentée dans cette note, est la version automatisée de la mesure originale de JONES (1) (1946) dont les résultats ne pouvaient s'appliquer qu'à des mesures en eau distillée. LONGWELL & MANIECE (2) (1955) puis ABBOTT (3) (1962) affinèrent et développèrent la technique.

Il est, ici, tenu tout particulièrement compte de la procédure manuelle utilisée par BRANICA (4) (1974) pour les mesures en eau de mer, de la première version automatisée de SODERGREN (5) (1966) et des travaux expérimentaux de BONNAFE (6) (1975).

I - Principe du système et réactifs utilisés

1. **Principe** : l'échantillon est mélangé au bleu de méthylène en solution boratée à pH 9,2 pour éliminer l'interférence de composés organiques, en particulier des protéines en-dessous de leur point iso-électrique.

La phase chloroformique isolée est lavée dans une solution acide de bleu de méthylène afin de supprimer les interférences dues aux sels minéraux.

Après une deuxième séparation de phases l'extraction chloroformique circule dans la cuve du colorimètre.

Entre chaque échantillon le circuit est lavé par de l'eau de mer ayant été prélevée au large et en profondeur.

2. Réactifs et standards

Chloroforme : pour spectroscopie MERCK-UVASOL (Art. 2447) ;

Solution tampon Borax : dissoudre dans l'eau distillée 3,81 g de tétraborate de sodium cristallisé pour analyse MERCK (Art. 6308). Compléter le volume de la solution à 1 litre avec de l'eau distillée. Le pH de l'eau distillée est compris entre 6,5 et 7,5. Éviter d'exposer le borate à l'air, la solution étant décomposée par le CO₂ ;

Solution mère de bleu de méthylène : peser 125 mg de bleu de méthylène MERCK (Art. 6045) et les dissoudre dans 500 ml d'eau distillée (pH entre 6,5 et 7,5). Homogénéiser plusieurs heures sur agitateur magnétique ;

Bleu de méthylène neutre : utiliser 25 ml de la solution mère de bleu de méthylène. Compléter à 250 ml avec la solution tampon Borax. Après homogénéisation introduire les 250 ml dans une ampoule à décanter. Laver 3 fois avec 25 ml de chloroforme pour analyse. Éliminer les extractions de violet de méthylène obtenues. Introduire dans l'ampoule à décanter 25 ml d'éther de pétrole pour analyse afin de retirer toute trace de chloroforme ;

Bleu de méthylène acide : utiliser 25 ml de la solution mère de bleu de méthylène. Ajouter 20 ml de la solution de Borax. Compléter à 250 ml avec de l'eau distillée. Agiter pour homogénéiser. Les procédures de lavage et de filtration sont analogues à celles décrites pour la préparation du bleu neutre. Après lavage par l'éther de pétrole ajouter 1,56 ml d'acide sulfurique concentré p.a. La préparation des bleus neutre et acide doit être conduite avec un soin particulier. L'homogénéisation doit durer au moins 1 heure sur agitateur magnétique. Éviter les émulsions lors des lavages avec le chloroforme ;

Solution mère de standard : le standard utilisé est l'acide dodécane sulfonique - 1- sel de sodium (lauryl sulfate de sodium) de formule CH₃(CH₂)₁₁ - O - SO₃Na fourni par MERCK (Art. 12146). Il s'agit d'un alkyl sulfate linéaire primaire qui se classe, compte tenu de la norme française homologuée NF T 73-050 d'avril 1969, sous l'indice 200.000.000.1. Peser 100 mg de ce standard. Les dissoudre dans 1 litre d'eau distillée. Cette solution contiendra 100 microgrammes de lauryl sulfate pour 1 ml de solution. Les solutions filles de standard seront préparées par dilutions successives pour éviter les « effets de parois », dans de l'eau de mer identique à celle constituant la solution de lavage.

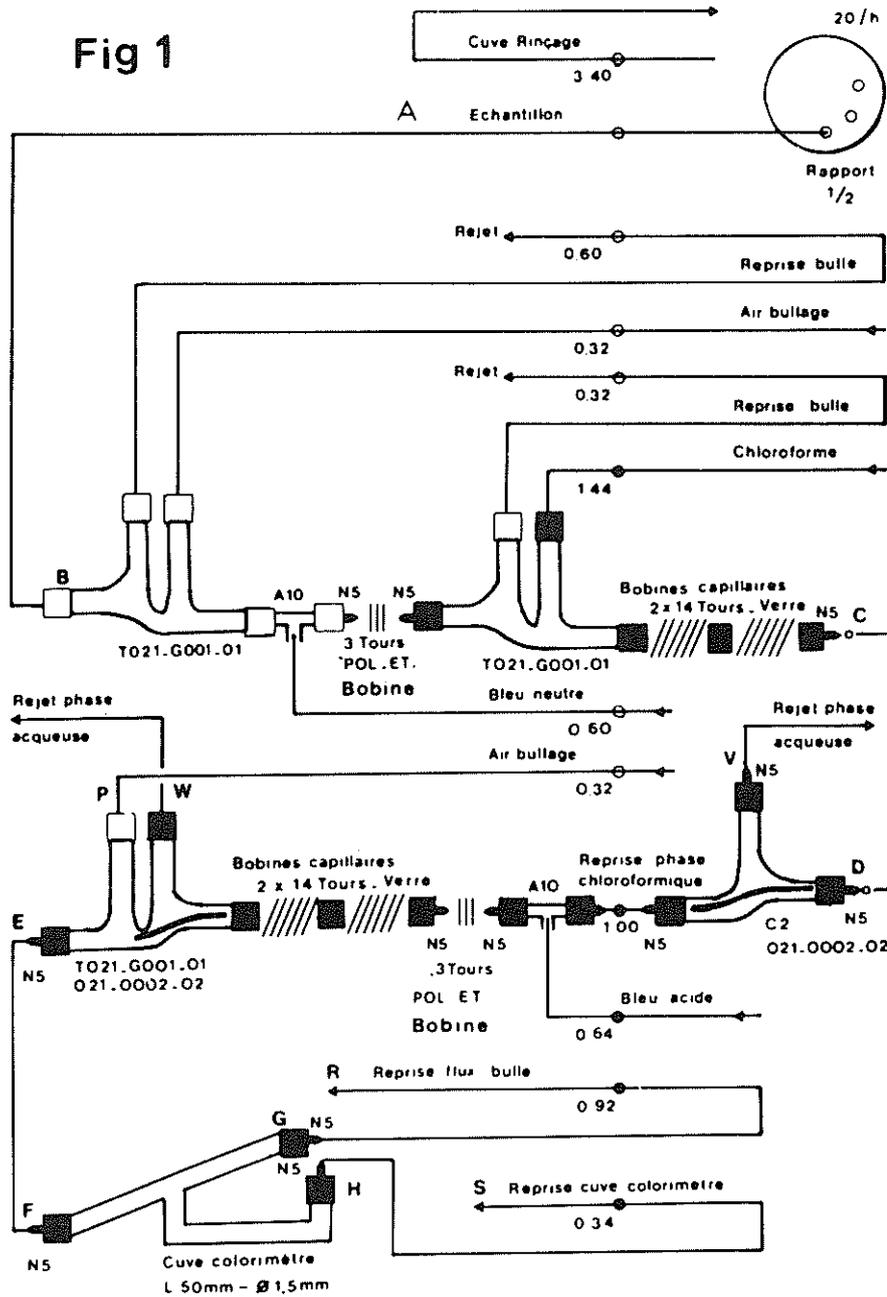
3. **Remarque** : les échantillons d'eau de mer ne sont pas filtrés afin d'éviter toute interférence pouvant être due à la matière chimique du filtre.

II - Montage et rythme de prélèvement

L'appareil est un Autoanalyzer II Technicon et le détail du montage est donné par la figure 1 et sa légende. Les tubes de pompe, particulièrement ceux en Acidflex, doivent être changés fréquemment. En ce qui concerne le rythme de prélèvement les résultats ont montré que la came 20.1/2 est la mieux adaptée permettant 2 minutes de rinçage pour 1 minute de prélèvement.

Le colorimètre, allumé une heure au moins avant la manipulation, fonctionne, dans le cas des plus faibles concentrations, entre les positions 7 et 8 du potentiomètre « standard calibration » et en position normal pour le « damp ».

Fig 1



LEGENDE DE LA FIGURE 1

- ▶ SENS DU FLUX
 - N5 "NIPPLE" DE RACCORDEMENT
 - MANCHON EN CPV
 - MANCHON EN ACIDFLEX STANDARD
 - MANCHON ACIDFLEX CONSTITUÉ PAR DU TUBE DE POMPE ACIDFLEX JAUNE/JAUNE
 - TUBE DE POMPE EN CPV. DÉBITS EN HL/MN SOUS LE SYMBOLE
 - TUBE DE POMPE EN ACIDFLEX. DÉBITS EN HL/MN SOUS LE SYMBOLE
- POL.ET POLY ETHYLENE

IL FAUT UTILISER DU TUBE DE LIAISON EN POLYÉTHYLÈNE POUR LES LIAISONS SUIVANTES : C-D, E-F, G-TUBE DE POMPE, H-TUBE DE POMPE, AU-DELÀ DE R, AU-DELÀ DE S.

IL FAUT UTILISER DU TUBE DE LIAISON EN ACIDFLEX STANDARD POUR LES LIAISONS SUIVANTES : X-TUBE DE POMPE, AU-DELÀ DE V, AU-DELÀ DE W.

LA LIAISON A-B EST LA PLUS COURTE POSSIBLE. L'ENSEMBLE COMPRIS ENTRE B ET C (ENSEMBLE QUI PEUT ÊTRE RENDU SOLIDAIRE) EST SITUÉ SUR LA POMPE OU LATÉRALEMENT À LA POMPE.

II - Résultats

1. Comparaison absorption atomique - flux continu

Des échantillons contenant des quantités croissantes (0-50-100-150-200 microgrammes par litre) de lauryl sulfate de sodium sont préparées. Une première droite (figure 2) traduit les résultats fournis par les mesures en adsorption atomique. L'extraction par MIBK d'un complexe tensioactif anionique - ortho-phenantroline cuivrique se fait selon la procédure de LE BIHAN (7).

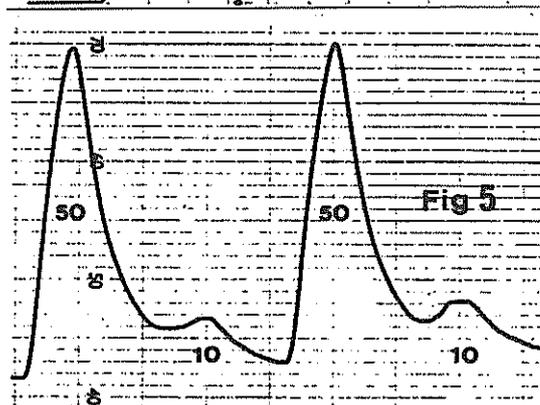
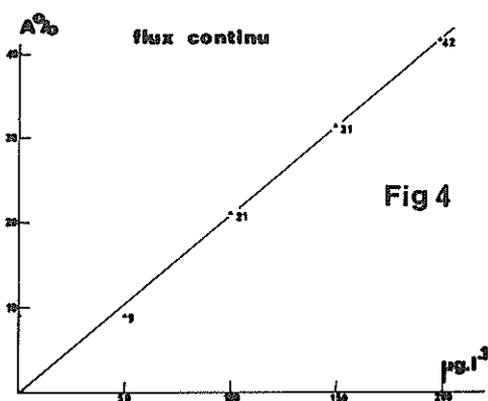
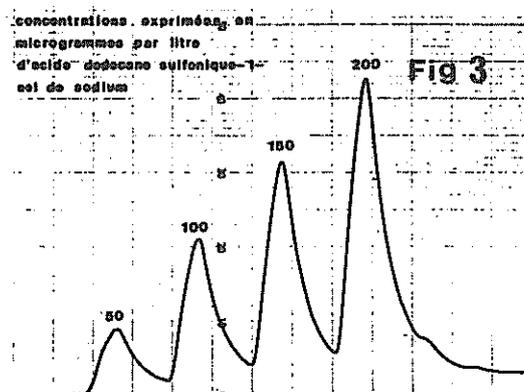
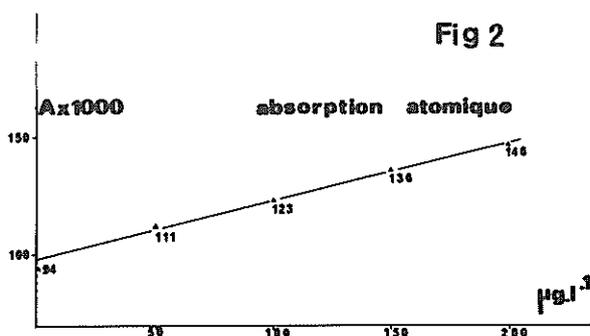
L'enregistrement des résultats en flux continu (figure 3) permet de tracer la droite correspondante (figure 4) et de vérifier ainsi que la loi de Lambert-Beer s'applique rigoureusement dans cette zone de mesure.

Dans les conditions indiquées, avec 2 minutes de lavage, des essais de contamination d'un échantillon de faible concentration ($10 \mu\text{g.l}^{-1}$) par l'échantillon précédent de concentration relativement élevée ($50 \mu\text{g.l}^{-1}$) ont été négatifs (figure 5).

Au-delà de $50 \mu\text{g.l}^{-1}$, quand le pic d'enregistrement présente une trainée, les échantillons suivants doivent être, par prudence, analysés de nouveau.

TABLEAU 1

| ECHANTILLON NUMÉRO | AJOUT DE LAURYL-SULFATE EN $\mu\text{g.l}^{-1}$ | CONCENTRATION AYANT L'AJOUT EN $\mu\text{g.l}^{-1}$ | | CONCENTRATION FINALE EN $\mu\text{g.l}^{-1}$ | |
|-----------------------|---|---|------------------------|--|------------------------|
| | | FLUX CONTINU | ABSORPTION ATOMIQUE | FLUX CONTINU | ABSORPTION ATOMIQUE |
| 1 | 0 | < 10 | < 10 | < 10 | < 10 |
| 2 | 10 | < 10 | < 10 | 10 | 10 |
| 3 | 20 | < 10 | 10 | 30 | 35 |
| 4 | 50 | 10 | 10 | 65 | 60 |
| 5 | 100 | < 10 | < 10 | 120 | 110 |



2. Application à un réseau de surveillance

Cinq échantillons différents provenant de notre réseau de surveillance sont dosés simultanément en absorption atomique et en flux continu. Leurs concentrations en tensioactifs étant très faibles (inférieures ou égales à 10 microgrammes par litre) la technique des ajouts a été utilisée. Les résultats (tableau 1) montrent que la corrélation entre les deux méthodes peut être considérée comme acceptable pour les ajouts inférieurs à 100 $\mu\text{g}/\text{l}$.

IV - Remarques sur les interférences possibles

Les travaux de DECKER (8) nous ont fait penser qu'une adsorption progressive du tensioactif par des molécules de type protidique pouvait se produire. Il s'agit là d'une interférence négative. Diverses molécules organiques (urine, sulfite et nitrate de sodium, etc.) interfèrent de manière positive (9). Il faut toutefois remarquer que ces molécules n'affectent le résultat de manière significative que par leur présence à des concentrations supérieures au milligramme par litre.

L'ammonium pyrrolidine dithiocarbamate (ADPC), couramment utilisé pour la mesure des métaux lourds, interfère de manière positive ; c'est ainsi que certains échantillons d'eau de mer ne contenant pas de tensio-actifs mais ayant reçu un ajout de 100 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ d'ADPC ont présenté des pics d'enregistrement équivalents à 40 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ de lauryl sulfate.

Il ne nous a pas été possible cependant d'établir une relation linéaire entre la concentration d'ADPC et la réponse de l'appareil.

V - Conclusion

Cette méthode permet de mettre en évidence dans l'eau de mer des teneurs de tensioactifs anioniques au moins égales à 10 $\mu \cdot \text{l}^{-1}$ avec pour cette valeur un coefficient de variation de l'ordre de 30 %.

Lorsque des concentrations supérieures à 50 $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ apparaissent, il est nécessaire de prendre de plus grandes précautions de rinçage afin d'éviter la contamination des échantillons suivants.

La longue expérience que nous avons maintenant de cette méthode nous autorise à la considérer comme fiable pour des analyses de routine en grande série d'échantillons d'eau de mer.

Bibliographie

- [1] JONES (J.H.), 1945. — *J. Ass. Off. Agr. Chem.*, **84**, p. 552.
- [2] LONGWELL (J.) & MANIECE (W.D.), 1955. — *Analyst*, **80**, p. 167.
- [3] ABBOTT (D.C.), 1962. — *Analyst.*, **87**, p. 286.
- [4] BRANICA (M.), COSOVIC (B.) & KOZARAC (Z.). — Spectrophotometric determination of anionic surfactants in sea water. Center for marine research, « Rudjer Boskovic » Institute, Zagreb, Croatia, Yugoslavia.
- [5] SODERGREN (A.), 1966. — *Analyst*, **91**, p. 113.
- [6] BONNAFE (M.). — Détermination des alkyl benzène sulfonates dans les eaux usées. *Technicon International*, Genève.
- [7] LE BIHAN & COURTOT-COUCPEZ, 1971. — *Bulletin de la Société Chimique de France*, **1**, p. 406.
- [8] DECKER (R.V.) & LE FOSTER (J.F.), 1966. — *Biochemistry (ACS)*, **5**, p. 1242.
- [9] Conference on Automatic Chemical Analysis, New York, November 12th to 14th, 1959. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1960, **87**, pp. 609-951.

1967 - 1977, dix ans de contrôle de la qualité des eaux marines de Monaco — Première Analyse —

par

Michel BOISSON, Raymond VAISSIÈRE, Evelyne SCHOMMERS et Jacques SÉMÉRIA
Centre Scientifique de Monaco, MC - Monte-Carlo (Principauté de Monaco)

Abstract

Results of 10 years of systematic bacteriological survey of coastal waters on 11 stations are studied taking into account the effects of a new 47 m deep domestic sewage effluent.

From 1971, date of installation of this effluent, appears an annual pollution cycle with summer and winter periods. The role of the seasonal thermocline is confirmed by temperatures measurements. Sanitary conditions of surface waters in summer are linked with the meteorological conditions creating thermocline.

*
* *

La ville de Monaco, située au pied d'un bassin versant, est traversée par les eaux de ruissellement de ce bassin et reçoit dans son réseau d'assainissement les effluents en provenance des agglomérations voisines. C'est donc un volume d'eau usée correspondant hors saison à environ 45.000 habitants qui est dirigé dans le collecteur principal, lequel avant 1971, se déversait près de la côte, sous la surface.

En juillet 1971, le collecteur fut prolongé de 450 mètres et son ouverture placée à 47 mètres de profondeur.

Un programme de surveillance bactériologique ayant été appliqué, au domaine marin, dès 1967, il a été possible par comparaison des résultats d'analyses des dix dernières années de mettre en évidence les effets de la restructuration du réseau d'assainissement.

Choix des stations, technique et regroupement des résultats

Les stations de prélèvement ont été choisies compte tenu de la nature, portuaire ou balnéaire, des eaux surveillées et des sources éventuelles d'éléments polluants.

Les échantillons de surface ont été recueillis chaque semaine sauf pendant les périodes de très mauvais temps. Les analyses des germes furent conduites par filtration sur membrane et incubation sur milieu de culture approprié (OMS, 1977). La température a été mesurée au moyen de thermomètres de surface ou à renversement et les conditions météorologiques relevées lors de chaque sortie.

Les enregistrements systématiques de température effectués, antérieurement à notre étude, entre 0 et 100 mètres dans la région, par divers auteurs (RICHARD, OXNER & SIRVENT, 1923; HELA *et coll.*, 1964) sont comparés avec les résultats des mesures faites dans le cadre d'une collaboration avec le réseau

national d'observation de la qualité du milieu marin entre juin 1976 et décembre 1977.

Enfin, les résultats des analyses d'*Escherichia coli* sont regroupés en deux périodes, l'une de janvier 1967 à juillet 1971, l'autre après cette date jusqu'à décembre 1977. Afin de mettre en évidence l'effet probable de la thermocline saisonnière sur la diffusion des rejets pollués, la dernière période a été subdivisée en deux sous-périodes : la première, qu'il a été convenu d'appeler "été" s'étend du début du mois de mai au début du mois d'octobre, la deuxième nommée "hiver" du début d'octobre à fin avril.

Dans chacune de ces périodes les résultats ont été séparés en neuf groupes répondant aux conditions de vent le jour du prélèvement et ordonnés en classes définies suivant une croissance logarithmique de pas 1,48. Ces classes sont :

| Classe | Valeurs | Classe | Valeurs |
|--------|---------|--------|-----------|
| 0 | < 2 | 5 | 47 à 70 |
| 1 | 2 à 4 | 6 | 70 à 103 |
| 1 | 4 à 8 | 7 | 103 à 155 |
| 1 | 8 à 14 | 8 | 155 à 225 |
| 2 | 14 à 22 | 9 | 225 à 330 |
| 7 | 22 à 32 | 10 | 330 à 500 |
| 4 | 32 à 47 | 11 | > 500 |

Pour chaque station, la fréquence relative des différentes classes est alors calculée. Dans chaque période et par secteur de vent, ces fréquences relatives sont ensuite rassemblées dans un tableau.

Résultats

La comparaison des températures (Fig. 1) montre qu'un écart entre la température de surface et celle à 40 mètres de profondeur apparaît à la fin du mois d'avril, augmente progressivement jusqu'en juillet, se maintient en août, puis décroît lentement pour disparaître en octobre. A 40 m, la température évolue peu présentant un maximum de 17°C au mois d'août.

Donc, dans la région, une thermocline saisonnière existe entre le début de mai et le début d'octobre. L'isotherme de valeur la plus élevée qui la délimite se situe le plus souvent au-dessus de l'isobathe 50, alors que l'isotherme 15°C, peut atteindre le niveau 75 mètres.

La comparaison des périodes hiver et été (après juillet 1971) permet de constater que :

- quelles que soient les conditions de vent, les fréquences relatives maximales aux stations Eg, 2, 3 passent des classes de valeurs proches de 500 germes pour 100 ml aux classes inférieures à 12 germes pour 100 ml en "été",

- pour toutes les stations, les maximums secondaires dispersés dans de nombreuses classes se regroupent dans les classes de valeurs inférieures à 12 germes pour 100 ml en été.

Ces variations saisonnières sont bien mises en évidence dans le cas des vents de secteur SE, SW et Nul (Fig. 2) pour lesquels le nombre d'observations est relativement grand.

Cet assainissement général des eaux côtières de mai à octobre coïncide donc bien avec la présence de la thermocline saisonnière. Les résultats du 1^{er} août 1977 sont significatifs à cet égard. Une homogénéisation temporaire des eaux de surface, indiquée par les courbes de température, est à l'origine de résultats comparables à la période hivernale.

Cependant, si l'effet de la thermocline est indiscutable, les conditions hydrologiques au point de rejet contribuent pour une grande part à la dispersion des polluants. L'étude des courants de fonds au cours de la période estivale indique qu'ils sont dans 49,8% des cas orientés vers le large.

Une grande ressemblance existe entre les analyses de la saison hiver postérieure à 1971 et celles acquises avant cette date. Quelques différences doivent, cependant, être mentionnées.

- aux stations Eg et 2, origines respectives des éléments polluants avant et après juillet 1971, les fréquences relatives maximales se déplacent d'une classe et diminuent de valeurs ;

- aux stations 1, 4 et 5, ces mêmes fréquences se regroupent vers les classes de valeurs inférieures à 12 germes/100 ml, en hiver. Dans ces dernières, la valeur de la fréquence augmente en fonction de l'éloignement des stations vis à vis de la sortie du collecteur principal, à l'exception des stations 7a et 8 où existent des sources intermittentes d'éléments polluants (déversoir d'orage et vallon non collecté) ;

- après juillet 1971, le nombre de résultats négatifs d'analyses, quasi-inexistantes dans la période antérieure, augmente sensiblement à toutes les stations.

Ces différences illustrées par vent Nul à la Fig. 3 résultent de l'éloignement de la source polluante par rapport aux stations de prélèvement.

Enfin, les tableaux établis dans la période avant 1971 pour des vents de secteur Est et Sud-Ouest, indiquent une tendance des polluants à se déplacer vers le Sud lorsque les vents sont de secteur Est et vers le Nord lorsqu'ils sont de secteur Sud-Ouest, avec, dans ce cas une accumulation à la station 1. Ce déplacement, équivalent à celui de flotteurs de surface, dans les mêmes conditions de vent, semble encore prévaloir en hiver après 1971 à cause d'une remontée rapide d'une partie des eaux usées.

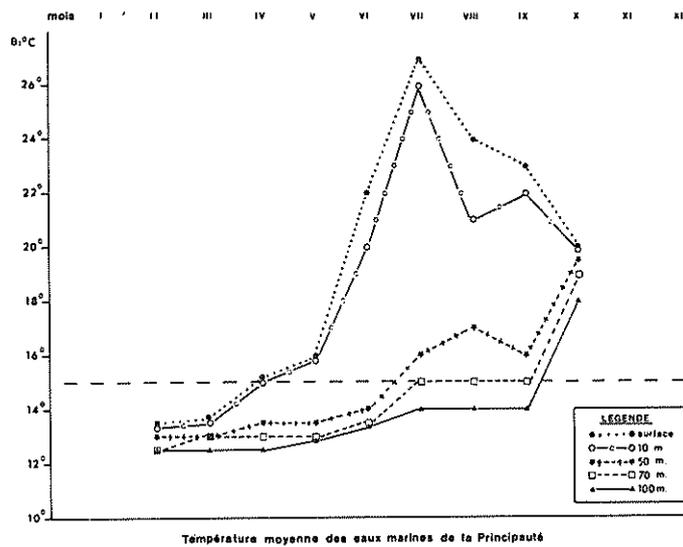
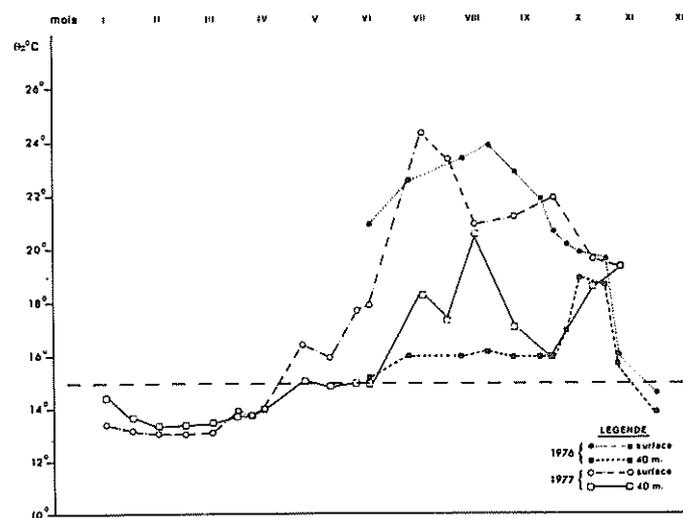


Fig. 1. - Évolution annuelle saisonnière de la température des eaux marines de la Principauté de Monaco à différentes profondeurs.

Graphiques supérieurs : Valeurs moyennes des températures à 4 profondeurs différentes à partir des mesures de Richard & Coll., 1923 et de Hela & Coll., 1964.

Graphiques inférieurs : Évolution des températures en surface et à l'isobathe 40 m pour deux années de mesures consécutives 1976 et 1977.



| | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 11 | 17,2 | 13,8 | 41,6 | 49,8 | 6,9 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 6,9 | | |
| 10 | 6,9 | 58,4 | 3,4 | 17,2 | 10,3 | 10,3 | 3,4 | 3,4 | | | |
| 9 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | 6,9 | | | | | | | |
| 8 | 13,8 | 3,4 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | | | | |
| 7 | 3,4 | 6,9 | 6,9 | 13,8 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | | | |
| 6 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 10,3 | 10,3 | 3,4 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | | |
| 5 | 10,3 | 10,3 | 10,3 | 6,9 | 10,3 | 3,4 | 3,4 | 10,3 | 3,4 | | |
| 4 | 10,3 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | 6,9 | 10,3 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | | |
| 3 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 10,3 | 13,8 | 3,4 | 17,2 | 6,9 | | |
| 2 | 6,9 | 6,9 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | 3,4 | 6,9 | 6,9 | | | |
| 1 | 17,2 | 17,2 | 3,4 | 24,2 | 31,0 | 20,6 | 45,1 | 41,6 | 10,3 | 17,2 | |
| 0 | 3,4 | 6,9 | 6,9 | 10,3 | 27,6 | 34,6 | 24,1 | 34,6 | 34,6 | 48,3 | |
| Cl | 1 | Ep | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7A | 7B | 8 | T |
| VENT NUL 39 cas après 71 HIVER | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11 | 8,3 | 12,5 | 4,2 | 8,3 | | | | | | | |
| 10 | 4,2 | 4,2 | | | | | | | | | |
| 9 | 4,2 | 4,2 | | | | | | | | | |
| 8 | 4,2 | 4,2 | | | | | | | | | |
| 7 | 4,2 | 4,2 | | | | | | | | | |
| 6 | 4,2 | 4,2 | | | | | | | | | |
| 5 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | | | | | | | |
| 4 | 12,5 | 4,2 | | | | | | | | | |
| 3 | 4,2 | 4,2 | 8,3 | 4,2 | 4,2 | 4,2 | | | | | |
| 2 | 4,2 | 4,2 | 8,3 | 8,3 | 8,3 | 12,5 | 4,2 | 4,2 | 8,3 | 4,2 | |
| 1 | 54,1 | 24,9 | 37,5 | 41,7 | 50,4 | 37,5 | 54,1 | 45,7 | 45,8 | 33,3 | 25,0 |
| 0 | 41,7 | 54,2 | 25,0 | 25,0 | 16,7 | 45,8 | 41,7 | 41,7 | 41,7 | 45,8 | 70,8 |
| Cl | 1 | Ep | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7A | 7B | 8 | T |
| VENT NUL 24 cas après 71 ETE | | | | | | | | | | | |

Fig. 2. - Tableaux regroupant les fréquences d'apparition d'une classe exprimée en pourcentage pour deux périodes «Hiver» et «Été» dans trois conditions de vents différents.

Le regroupement des % maxima en classe 0 et 1 s'explique par la présence d'une thermocline saisonnière.

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|
| 11 | 38,0 | 32,0 | 24,0 | 4,0 | 8,0 | | | | | | |
| 10 | 60,0 | 28,0 | 8,0 | 16,0 | 8,0 | 8,0 | 8,0 | 4,0 | | | |
| 9 | 4,0 | 8,0 | 4,0 | 8,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | | | | |
| 8 | 8,0 | 8,0 | 4,0 | | | | | | | | |
| 7 | 8,0 | 4,0 | 12,0 | 8,0 | 4,0 | 8,0 | | | | | |
| 6 | 4,0 | 4,0 | 2,0 | 4,0 | 8,0 | 12,0 | | | | | |
| 5 | 12,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 8,0 | 4,0 | 4,0 | 8,0 | | | |
| 4 | 8,0 | 4,0 | 8,0 | 4,0 | 4,0 | | | | | | |
| 3 | 4,0 | 12,0 | 4,0 | 4,0 | 8,0 | 16,0 | | | | | |
| 2 | 16,0 | 8,0 | 8,0 | 4,0 | 4,0 | | | | | | |
| 1 | 36,0 | 12,0 | 40,0 | 12,0 | 44,0 | 36,0 | 40,0 | 36,0 | 32,0 | | |
| 0 | 4,0 | 20,0 | 44,0 | 32,0 | 38,0 | 44,0 | 28,0 | 36,0 | | | |
| Cl | 1 | Ep | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7A | 7B | 8 | T |
| S W 25 cas après 71 HIVER | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11 | 5,3 | | | | | | | | | | |
| 10 | 21,1 | 5,3 | 5,3 | | | | | | | | |
| 9 | 10,5 | 10,5 | | | | | | | | | |
| 8 | 5,3 | | | | | | | | | | |
| 7 | 5,3 | 5,3 | | | | | | | | | |
| 6 | 10,5 | 5,3 | 10,5 | | | | | | | | |
| 5 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | | | | | | | | |
| 4 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | 5,3 | | | | | | | |
| 3 | 5,3 | 10,5 | 5,3 | 10,5 | 5,3 | | | | | | |
| 2 | 5,3 | 10,5 | 10,5 | 10,5 | 5,3 | 5,3 | 10,5 | 5,3 | | | |
| 1 | 26,3 | 31,5 | 31,5 | 42,0 | 42,1 | 36,8 | 35,8 | 47,3 | 36,8 | 66,4 | 64,2 |
| 0 | 66,4 | 42,1 | 10,5 | 21,1 | 15,8 | 47,4 | 42,1 | 31,6 | 37,9 | 26,3 | 15,8 |
| Cl | 1 | Ep | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7A | 7B | 8 | T |
| S W 19 cas après 71 ETE | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|
| 11 | 5,0 | 40,0 | 40,0 | 25,0 | 15,0 | 10,0 | 15,0 | 5,0 | 10,0 | | |
| 10 | 35,0 | 10,0 | 5,0 | | | | | | | | |
| 9 | 10,0 | 5,0 | | | | | | | | | |
| 8 | 40,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 10,0 | 10,0 | | | | | |
| 7 | 5,0 | 15,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | | | | |
| 6 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 10,0 | | | | | |
| 5 | 10,0 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | 10,0 | | | |
| 4 | 5,0 | 15,0 | 5,0 | 5,0 | 15,0 | 5,0 | | | | | |
| 3 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | 5,0 | 10,0 | 15,0 | | | | | |
| 2 | 5,0 | 5,0 | 5,0 | | | | | | | | |
| 1 | 40,0 | 15,0 | 25,0 | 50,0 | 45,0 | 45,0 | 50,0 | 40,0 | 15,0 | 35,0 | |
| 0 | 25,0 | 5,0 | 35,0 | 25,0 | 5,0 | 15,0 | 30,0 | 25,0 | 30,0 | | |
| Cl | 1 | Ep | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7A | 7B | 8 | T |
| S E 20 cas après 71 HIVER | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 11 | 7,7 | | | | | | | | | | |
| 10 | 7,7 | | | | | | | | | | |
| 9 | 7,7 | | | | | | | | | | |
| 8 | 7,7 | | | | | | | | | | |
| 7 | 7,7 | | | | | | | | | | |
| 6 | 7,7 | 23,1 | 7,7 | | | | | | | | |
| 5 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | | | | | | | | |
| 4 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | | | | | | | | |
| 3 | 7,7 | 22,8 | 7,7 | | | | | | | | |
| 2 | 7,7 | 7,7 | 7,7 | 15,4 | 7,7 | 15,4 | | | | | |
| 1 | 77,0 | 61,5 | 23,1 | 54,1 | 38,4 | 38,4 | 53,8 | 53,8 | 46,1 | 61,5 | 36,8 |
| 0 | 23,0 | 30,8 | 46,1 | 23,1 | 30,8 | 46,2 | 30,8 | 30,8 | 46,2 | 23,1 | 66,2 |
| Cl | 1 | Ep | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7A | 7B | 8 | T |
| S E 13 cas après 71 ETE | | | | | | | | | | | |

- | | |
|---------|---------|
| Classes | Valeurs |
| 0 | < 2 |
| 1 | 2-14 |
| 2 | 14-22 |
| 3 | 22-32 |
| 4 | 32-47 |
| 5 | 47-70 |
| 6 | 70-103 |
| 7 | 103-155 |
| 8 | 155-225 |
| 9 | 225-330 |
| 10 | 330-500 |
| 11 | > 500 |

Fig. 3. — Tableaux des fréquences d'apparition d'une classe exprimée en pourcentage pour les périodes avant et après juillet 1971 par vent Nul. Le déplacement des pourcentages maxima aux stations 2, 3 est la conséquence de l'éloignement (déplacement et immersion) de la source de pollution par rapport aux stations de prélèvements.

| Classes | Valeurs |
|---------|---------|
| 0 | < 2 |
| 1 | 2-14 |
| 2 | 14-22 |
| 3 | 22-32 |
| 4 | 32-47 |
| 5 | 47-70 |
| 6 | 70-103 |
| 7 | 103-155 |
| 8 | 155-225 |
| 9 | 225-330 |
| 10 | 330-500 |
| 11 | > 500 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|
| 11 | 4,3 | 87,0 | 56,5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | | | 12,0 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9 | 4,3 | 4,3 | 4,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | 4,3 | |
| 8 | 4,3 | | 4,3 | 8,7 | 4,3 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | | | 8,7 | 4,3 | 17,4 | | 4,3 | | | | | | | | | | | | | 4,2 | 4,3 |
| 6 | 21,7 | | 8,6 | 8,7 | 4,3 | 12,9 | 8,6 | | 4,2 | 8,7 | | | | | | | | | | | |
| 5 | 17,4 | | | 17,4 | 4,3 | | 12,9 | 12,6 | 4,3 | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 4,3 | | | 4,3 | 13,0 | 28,1 | 17,2 | 8,6 | 4,2 | 13,0 | | | | | | | | | | | |
| 3 | 28,1 | | | 4,3 | 8,7 | 17,4 | 4,3 | 25,8 | 18,8 | 4,3 | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | 13,0 | | 8,6 | 17,2 | 21,0 | 4,3 | | | | | | | | | | | |
| 1 | 17,4 | | | | 8,7 | 38,2 | 47,8 | 25,8 | 37,8 | 52,2 | | | | | | | | | | | |
| 0 | | | | | 4,3 | 4,3 | 4,3 | | | 4,3 | | | | | | | | | | | |
| Cl | St | 1 | Es | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7a | 7b | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| VENT NUL 23 cas avant 71 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|----|----|----|----|----|------|-----|------|
| 11 | 17,2 | 13,8 | 41,6 | 40,8 | | | | | 6,9 | 3,4 | | | | | | | | | | 3,4 | 3,4 | 6,9 |
| 10 | 6,9 | 5,1 | | | | | | | 17,2 | | 10,3 | 10,3 | 3,4 | 3,4 | | | | | | | | |
| 9 | 3,4 | | 6,9 | 3,4 | | | | | 6,9 | | | | | | | | | | | | | |
| 8 | 13,8 | 3,4 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | | | | | | | | | | | | | | | 3,4 | | 4,2 |
| 7 | 3,4 | | 6,9 | 6,9 | 13,8 | 3,4 | | | | | | | | | | | | | | 3,4 | 3,4 | 3,4 |
| 6 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 10,3 | 10,3 | | | | | | | | | | | | | | | 3,4 | 3,4 | 6,9 |
| 5 | 10,3 | | 10,3 | 10,3 | 6,9 | | | | | | | | | | | | | | | 10,3 | 3,4 | 3,4 |
| 4 | 10,3 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | 6,9 | 10,3 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | 3,4 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | 3,4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | 17,2 |
| 2 | 6,9 | | 6,9 | 3,4 | 6,9 | 3,4 | | | | | | | | | | | | | | | | 6,9 |
| 1 | 17,2 | 17,2 | | 3,4 | 24,2 | 31,0 | 20,6 | 45,1 | 41,6 | 10,3 | 17,2 | | | | | | | | | | | |
| 0 | 3,4 | | 6,9 | 6,9 | 10,3 | 27,6 | 34,8 | 24,1 | 34,8 | 34,8 | 48,3 | | | | | | | | | | | |
| Cl | St | 1 | Es | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7a | 7b | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | |
| VENT NUL 28 cas après 71 HIVER | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

La comparaison des résultats d'analyses bactériologiques montre que la restructuration du réseau d'assainissement se traduit dans les eaux côtières de surface par un cycle annuel des polluants se composant d'une phase hivernale (octobre à avril) et d'une phase estivale (mai à septembre).

En hiver, la légère diminution de la concentration de polluants en surface résulte de l'immersion du collecteur principal, l'éloignement du point de rejet ayant l'effet prépondérant par rapport aux gradients thermiques.

En été, l'amélioration de la qualité des eaux côtières provient principalement de l'existence d'une thermocline saisonnière au-dessus de l'orifice du collecteur principal.

Cependant, lors de variations inhabituelles de conditions météorologiques, il a été constaté que les modifications thermiques des masses d'eau qui en résultent, conduisent en surface à des concentrations de polluants analogues à ceux de la phase hivernale.

Bibliographie

- O.M.S. 1977 — Directives applicables à la surveillance de la qualité des eaux littorales : Rapport d'une réunion d'un groupe d'experts organisée conjointement par l'OMS et le PNUE, Rovinj, Yougoslavie, 23-25 fév. 1977.
- RICHARD (J.), OXNER (M.) & SIRVENT (L.) 1923 — Observations méthodiques de température et de salinité à diverses profondeurs au large de Monaco, de décembre 1907 à mars 1914. *Bull. Inst. Océanogr., Monaco*, 436, 6 p. 12 tabl. dépl.
- HELA (I.), GILAT (E.) & MARTIN (J.C.) 1964 — Study of an ecosystem in the coastal waters of the Ligurian sea. I - hydrographic conditions. *Bull. Inst. Océanogr., Monaco*, 63, n°1306, 20 p. 24 fig.

Heavy metals and chlorinated hydrocarbons in pelagic organisms from the open Mediterranean Sea

by

S.W. FOWLER*, J. LA ROSA*, Y. UNLU*, B. OREGIONI*, J.P. VILLENEUVE*
D.L. ELDER, R. FUKAI*, D. VALLON** and M. BOISSON***

* *International Laboratory of Marine Radioactivity, IAEA,
Musée Océanographique, Principauté de Monaco*

** *Commission Scientifique de la Méditerranéenne Game Fish Association, Antibes (France)*

*** *Centre Scientifique de Monaco, Musée Océanographique, Principauté de Monaco*

Abstract

During 1977 pelagic organisms ranging in size from microplankton to tuna were sampled throughout the Mediterranean and analysed for selected heavy metals and chlorinated hydrocarbons. Wherever possible, zooplankton and nekton were sorted into species in order to aid in determining spatial and temporal trends in contaminant levels. Although the data are far from complete for all species, results to date for both categories of pollutants indicate that levels in open Mediterranean organisms in most case are similar to those reported for pelagic species from other oceanic regions.

*
* *

Introduction

Heavy metals and chlorinated hydrocarbons are known to concentrate to relatively high levels in a variety of marine organisms. As a result a large number of pollutant surveys have been initiated throughout the world in order to define existing levels of contaminants in many important species. Most studies have focused on coastal organisms which are easy to collect. Far less information exists on contaminant concentrations in pelagic organisms, which are important in terms of their total biomass, their key position in the food web and their ability to accumulate and transport these pollutants in various ways (MARTIN & KNAUER 1973 ; FOWLER, 1977 ; ELDER & FOWLER, 1977). On several occasions during 1977 pelagic organisms were sampled from a number of regions throughout the Mediterranean. Mixed plankton as well as individual species of macrozooplankton and nekton were analysed for chlorinated hydrocarbons and trace metals in an attempt to establish baseline levels of these elements in organisms from open waters of the Mediterranean Sea. We report here results of the samples which have been analysed to date.

Materials and methods

During 1977 samples of pelagic organisms were collected on four separate cruises in several sectors of the Mediterranean Sea. The eastern basin (Levantine) was sampled twice : during April between Port

IV^{es} Journées Étud. Pollutions, pp. 155-158, Antalya, C.I.E.S.M. (1978).

Said, Egypt and Malta aboard the R/V *Atlantis II*, and in July with the R/V *Shikmona* on a transect between Haifa, Israel and Crete. The Aegean, Ionian and Tyrrhenian Seas were sampled aboard the USNS *Hayes* in June, and the western Mediterranean region utilizing the *Cornide de Saavedra* during the July COMEDOC II cruise.

All collections were made at night when the majority of the vertical migrators are present in the upper water layers. Mixed plankton samples were fished at a depth between 10 and 20 metres with a 1 metre plankton net of either 60, 280 or 500 μm mesh aperture. The contents of the nets were immediately transferred to sea-water in pre-cleaned glass bowls. Visible debris was removed and the samples were examined to assure they did not contain paint chips, tar balls, rust, etc. The sample was then briefly rinsed with doubly distilled water and concentration into a ball on fine mesh netting. Macrozooplankton and nekton were collected at the same stations by obliquely towing an Isaacs-Kidd midwater trawl between 100 m and the surface. Organisms were sorted according to species, rinsed with distilled water and blotted on paper towelling. When sufficient quantity permitted, the samples were split in two, one sample for PCB and DDT analyses was wrapped in pre-cleaned aluminium foil. The other, for metal analysis, was placed in acid cleaned plastic bottles. All samples were then stored at -20°C . Extreme care was exercised during each phase of sample preparation in order to avoid accidental shipboard contamination.

Bluefin tuna (*Thunnus thynnus thynnus*) samples were obtained from the Mediterranean Game Fish Association fishing contests which were held periodically throughout the summer along the south coast of France. Within hours after the specimens were captured samples of tail muscle, liver and gut contents were taken and immediately deep-frozen.

Prior to analysis all samples were freeze-dried, ground to powder, weighed and, in the case where ample material was available, portioned into aliquots. One sample was extracted and analysed for PCB and DDT residues following procedures reported previously (ELDER & FOWLER, 1977 ; FOWLER & ELDER, 1978). Other aliquots were analysed for selected trace elements (As, V, Zn, Fe, Co, Cs, Ag, Se, Sc, Sb, Rb, Hg) by both non-destructive neutron activation and atomic absorption spectrophotometry (FOWLER & OREGIONI, 1976 ; PAPADOPOULOU *et al*, 1973 ; GRIMANIS *et al*, 1978).

Results

Metals

To date mixed plankton have been analyzed only for Hg and V. Mercury levels were generally low, averaging approximately 46 ppb dry (range 15-116 ppb) for the entire Mediterranean. There was a slight tendency toward lower values ($X = 28$ ppb) in the Levantine basin although the differences between areas were not statistically significant ($P < 0.05$). In general, overall Hg levels in mixed plankton were in the same range as those measured in similar samples collected throughout the open Mediterranean in 1975 (FOWLER *et al*, 1976). Vanadium concentrations in plankton were considerably higher than mercury with levels averaging 1.1 ppm dry (range 0.9 to 1.5 ppm).

Euphausiids were usually the most prevalent group found at each station. Mercury levels in these organisms averaged 138 ppb dry were notably higher than the residues in the mixed plankton upon which euphausiids feed. Inter-station variation in the concentration of most elements in euphausiids was less than one order of magnitude except in the case of Sc and Ag.

Several other individual zooplankton and micronekton species were analysed for selected trace elements and, in general, for any one species no striking differences or similarities in element concentration were observed. In the case of Hg for which we have the most comprehensive data, it appears that along with mixed plankton, the smaller forms with high water content (e.g. *Pyrosoma atlanticum*, *Abylopsia tetragona* and leptocephali of eels) displayed the lowest levels. Although there were some exceptions, a trend toward higher concentrations (≈ 0.1 to 0.2 ppm Hg dry) in pelagic crustaceans and mollusca was noted with the highest levels generally found in pelagic fish. As was the case with euphausiids, in general relatively little variation in element concentration was noted among individual species from different stations. One notable exception was cobalt which was consistently higher in the mesopelagic fish, *Myctophum glaciale*, from the eastern basin compared to the other regions.

An analysis of food chain relationships of elemental concentrations was hampered by lack of samples of complete food chains at a given station. For this reason several organisms comprising a well-defined pelagic food chain were sampled separately one night in March 1977 off Villefranche-sur-Mer,

France and analysed for As and V. In passing along the food chain from microplankton to euphausiids to carnivorous decapods and fish, concentrations of As displayed no noticeable trend whereas V levels clearly decreased.

At present only tuna muscle has been analysed for total Hg. Individuals weighing between 11 and 12.8 kg contained less than 1 ppm Hg (0.64-0.81 ppm wet). The concentration was higher, 1.2 ppm in muscle from a single individual weighing 27.8 kg. These levels are within the range of previously reported values for Hg in Mediterranean tuna (CUMONT *et al.*, 1972).

Chlorinated hydrocarbons

Levels of PCBs and Σ DDT in mixed plankton ranged from 15 to 225 ppb and 12 to 85 ppb, respectively. PCB residues were relatively high in the samples from two stations in the eastern basin, however, there is some evidence to suspect possible PCB contamination from the ship. At one station in the eastern sector plankton contained high amounts of DDT relative to PCBs (Σ DDT/PCB = 4.6). This observation is thought to reflect a relatively recent input of DDT to the region.

The ranges of residue concentrations in euphausiids (9.8 to 110 ppb dry for PCB and 2.5 to 115 ppb for Σ DDT) were similar to those measured in mixed plankton. Euphausiids from the eastern basin had higher Σ DDT/PCB ratios than those the central region. This is due to a greater relative decrease in Σ DDT levels compared to PCB concentrations in going from the central to the eastern region.

Residue data in macrozooplankton and micronekton are too sparse to adequately discern regional patterns; however, some interesting observations can be made. The pelagic tunicate, *P. atlanticum*, sampled at one station in the Ionian Sea contained far less PCB and DDT than similar sized individuals from the Levantine basin. Different sized mesopelagic fish, *M. glaciale*, sampled from a single population displayed a trend towards increasing Σ DDT/PCB and DDE/PCB ratios with increasing size of fish. Finally, the relatively high levels of chlorinated hydrocarbons (PCB = 664 ppb; Σ DDT = 126.8 ppb) found in the amphipod, *Anchylomera blossevillei*, may be typical for this group of organisms. It is interesting to note that amphipods are also known to accumulate certain heavy metals to very high levels (FOWLER *et al.*, 1976).

Tuna muscle contained concentrations of PCB and Σ DDT ranging from 34 to 331 ng/g dry and 9 to 184 ng/g dry, respectively. Levels in liver were considerably higher; corresponding ranges for PCB and DDT were 550 to 3360 and 388 - 1145 ng/g dry, respectively. Gut contents, which were primarily composed of euphausiids, contained levels (PCB = 67 - 383 ng/g; Σ DDT = 57 - 198 ng/g) which corresponded to those in tuna muscle.

Discussion and conclusions

In order to discern spatial and temporal trends of contaminant levels in pelagic organisms, samples should ideally consist of single species or single groups in order to reduce variation arising from analysing mixed species. Unfortunately, very few previous studies have attempted this in a comprehensive manner; therefore, it is difficult to make a broad comparison between our Mediterranean organisms and similar species from other areas. Nevertheless, considering the paucity of this type of information, chlorinated hydrocarbon and heavy metal concentrations in similar species and taxonomic groups from several areas outside the Mediterranean were compared with those in our survey. Broadly speaking, Mediterranean levels of both pollutant categories in the majority of the organisms analysed fell within the range of values which have been reported for the same groups from other geographical areas. This was especially evident for metals in all organisms studied and chlorinated hydrocarbons in individual macroplankton and micronekton. However, in the case of mixed microplankton, PCB residues were roughly one order of magnitude lower than previously reported values. Far more data needs to be collected over a longer time span in order to resolve whether these lower levels are due to a global decrease in PCB input with time or actually represent real-time geographical differences in existing PCB concentrations.

Considering chlorinated hydrocarbons and trace element concentrations in all the species examined from any area within the Mediterranean, no general regional differences in contaminant levels

PREMIERES OBSERVATIONS SUR DES RECOLTES EXPERIMENTALES DE
ZOOPLANCTON EFFECTUEES SUR LA FLEXURE DU PLATEAU CONTINENTAL
AU LARGE DE CALVI (CORSE)

Claude FALCONETTI, Gérard SEGUIN et Raymond VAISSIERE
Laboratoire de biologie et d'écologie marines, Université
de Nice

Zooplankton has been caught with an experimental net at 30cm above the bottom and 135-145m deep on the edge of the continental shelf near Calvi (Corsica).

The whole lot of samples shows a complex composition with larvae from benthic communities, neritic planktonic forms and many epi- and bathypelagic species (especially Copepods).

Basing their argument on former physical oceanographic observations, the authors present the diversity of species as a likely result of vertical and horizontal motion of water masses.

Les premières captures de plancton effectuées dans la couche d'eau située à 30cm au-dessus des fonds à grands Brachiopodes du plateau continental de la région de Calvi ont souligné le grand intérêt que présente l'étude des sous-unités d'éco-systèmes marins à proximité du fond.

Elles ont montré la complexité de la structure faunistique des échantillons, les organismes ayant des origines multiples, les uns méroplanctoniques dépendent essentiellement du benthos, les autres holoplanctoniques appartiennent aux deux provinces océanique et néritique, les représentants de cette dernière étant évidemment les plus nombreux.

La diversité des peuplements planctoniques n'est pas le fait d'un hasard. Outre la proximité des communautés benthiques, qui en est un des facteurs, elle est très certainement liée au régime hydrologique et à des migrations verticales dont les mécanismes, bien que connus dans leurs grandes lignes, sont loin d'être élucidés tout au moins dans cette région. Dans ce cas particulier, la complexité du système entraîne la présence d'espèces considérées comme atlantiques (Mecynocera clausi, Euchaeta hebes, Pleuromamma abdominalis, Centropages hamatus, Centropages chierchiai, Lucicutia flavicornis, Candacia varicans) par différents auteurs

(FURNESTIN, CANNICCI, DURAN, GAUDY, SEGUIN) en compagnie d'Euaetideus giesbrechti, Chiridius poppei, Oithona setigera lesquels, rarement cités pour le bassin méditerranéen occidental, sont plutôt connus de la mer Ionienne, d'Adriatique méridionale et de la Tyrrhénienne.

Enfin, les rapports entre peuplements benthiques et pélagiques ne sont pas clairs et l'on peut avancer plusieurs hypothèses soulevant de nombreuses questions :

Il apparaît, d'après la composition des échantillons holoplanctoniques et les connaissances hydrologiques acquises, que la région étudiée est le siège de turbulences. Dans ces conditions, comment se fait le recrutement nécessaire au maintien des peuplements benthiques caractéristiques de ces zones? S'il n'y a pas d'entretien par les larves issues du peuplement mais par celles venues de l'extérieur, quels sont alors les régimes hydrologiques réguliers favorisant l'arrivée, la fixation et la métamorphose des larves en ces lieux? On peut aussi penser que les turbulences n'ont pas la même intensité à toutes les époques de l'année et que des périodes de calme relatif, au moment de la reproduction des organismes caractéristiques, favoriserait le recrutement; mais, là encore, un très grand nombre d'informations sur la biologie des espèces et les variations des conditions physico-chimiques nous manquent, ce qui justifie la poursuite de ce type d'étude.

FALCONETTI (C.) & VAISSIERE (R.), 1975.- Prototype d'un filet pour la capture du plancton à proximité du fond. Rapports et P.V., CIESM, 23, 2, pp.153-154.

GOSTAN (J.), 1968.- Contribution à l'étude hydrologique du bassin Liguro-provençal entre la Riviera et la Corse. Thèse de Doctorat d'Etat, Faculté des Sciences, Université de Paris, 206 p.

GOSTAN (J.), 1968.- Conditions hydrologiques observées pendant l'été entre la Riviera et la Corse. Cahiers océanographiques, 20, 1, pp.37-66.

MAZZA (J.), 1968.- Données sur la répartition verticale des Copépodes de la surface aux eaux profondes en Méditerranée occidentale. Rapports et P.V., CIESM, 19, 3, pp.501-502.

Résultats des campagnes du N.O. Korotneff (1969-1971) et (1972-1973) . Radiale Villefranche-Calvi, observations mensuelles hydrologiques et optiques. "Programme Hydrokor". Rapports, Centre de recherches océanographiques de Villefranche sur mer, n°5 (1973) et n°16 (1975).

Travail effectué avec l'appui technique du Musée océanographique de Monaco.

RESULTATS DE PECHEES VERTICALES DE COPEPODES EN MER TYRRHENIENNE
ET EN MER IONIENNE

(Première partie - Juillet 1977)

Raymond VAISSIERE et Gérard SEGUIN

Laboratoire de biologie et d'écologie marines, Université
de Nice

Three oceanographic cruises in the Tyrrhenian and Ionian seas took place in 1977 and 1978 for plankton communities study purpose.

Hydrological data (1977-1978) are given as well as Copepods composition of catches done (july 1977) in 3 layers (1600-400; 400-200; 200-0 metres) on 12 stations.

The results show distinct distribution differences of the species. Topography and hydrological regime in the Strait of Sicily could contribute to explain these differences.

3 campagnes océanographiques ont été accomplies dans les bassins Tyrrhénien et Ionien en 1977 et 1978.

Cette publication regroupe les données hydrologiques acquises au cours de ces missions et celles des campagnes effectuées par d'autres auteurs dans les mêmes régions.

Seuls les résultats des captures de Copépodes effectuées en 1977 dans les couches profondes (1600-400), levantine (400-200) et de surface (200-0) sont exploités ici.

Les répartitions géographiques et bathymétriques montrent de très nettes différences.

Sur 112 espèces, auxquelles il faut ajouter 16 déterminations au niveau du genre, 59 se trouvent dans les deux mers. 48 n'ont été rencontrées qu'en Tyrrhénienne et 5 seulement en Ionienne.

Sur 14 espèces paraissant limitées aux profondeurs supérieures à 400 m., 13 n'ont été pêchées qu'en Tyrrhénienne et 1 seule en Ionienne.

Les mêmes schémas se retrouvent pour les couches supérieures de 400 à 200 mètres et de 200 mètres à la surface. Dans le premier cas, 22 espèces sont limitées à la Tyrrhénienne et 1 à la Ionienne; dans le second cas, les chiffres sont respectivement 10 et 3.

Il semble évident que la topographie du détroit de Sicile et le régime hydrologique jouent un rôle prépondérant dans la distribution et la composition des peuplements dans ces régions.

Le courant atlantique favorise le déplacement d'ouest en est d'espèces superficielles, sub-superficielles ou encore eurybathes pouvant effectuer des migrations verticales de grande amplitude qui leur permettront d'être entraînées vers le bassin oriental dès leur arrivée en surface.

Pour les espèces plus ou moins inféodées à des profondeurs supérieures à 400 mètres, le seuil constitue un obstacle d'autant plus difficile à franchir que le fond est parcouru par le courant levantin vers l'ouest.

L'absence d'espèces essentiellement levantines dans le bassin oriental, à l'exception peut-être de Gaïdius tenuispinus, traduirait un manque d'originalité de ce dernier.

Les indices de diversité présentent des valeurs élevées (3,22 à 3,74) dans la tranche d'eau 400-200 m. Ils s'expliquent car cette dernière reçoit aussi bien les espèces migratrices profondes que superficielles.

Les indices élevés en proche Ionienne, supérieurs à 3,27, dans la couche 400-200 et supérieurs à 3,64 entre 200 et 0 se comprennent par la convergence des influences adriatique, levantine et atlantique.

Pour les stations centrales de la Tyrrhénienne, compte tenu des données hydrologiques connues, les chiffres élevés seraient la conséquence des apports simultanés des eaux atlantique et intermédiaire. Une atténuation est marquée vers le nord. La prépondérance de l'un ou l'autre des courants n'a pas été mise en évidence.

Enfin, l'instabilité connue du Canal de Corse conduit à des variations importantes dans la composition des peuplements de Copépodes.

Ces premiers résultats, confrontés à des travaux consignés dans plus de 80 publications, permettent de conclure provisoirement à une particularité certaine des peuplements de Copépodes en Tyrrhénienne et soulignent également la difficulté de mettre en évidence, en ces lieux, un réel indicateur biologique des conditions hydrologiques.

* Nous remercions Madame Michelle Etienne, Ingénieur du CNRS à la Station zoologique de Villefranche-sur-mer qui a bien voulu préparer et effectuer les calculs.

- ALLAIN C., 1960. Rev.Trav.ISTPM, 24, 1, 121-152.
ALLAN T.D. & MORELLI C., 1970. Strait of Sicily, area 7.
FRASSETTO R., 1972. Oceanography of the Strait of Sicily, 38-44.
FURNESTIN M.L., 1968. J.Conseil, 32, 1, 25-69.
LABORATOIRE D'OCEANOGRAPHIE PHYSIQUE, Faculté des Sciences, Paris, 1969. Cah.océanogr., 21, suppl. 2, 203-244.
LACOMBE H. & TCHERNIA P., 1959, Cah.océanogr., 11, 5, 332-368; 11, 6, 433-458.
LE FLOCH J., 1963. Cah.océanogr., 15, 7, 456-469. Trav.C.R.E.O., 5, 1, 11-26.
LE FLOCH J. & ROMANOVSKY V., 1966. Cah.océanogr., 18, 3, 185-228.
MOREL A., 1971. Cah.océanogr., 23, 4, 329-342.
OVCHINNIKOV I.M., 1966. Oceanology, 6, 1, 48-59.
TCHERNIA P., 1956. Cah.océanogr., 8, 9, 427-454; 1958. Rap.CIESM, 14, 43-46.

Travail effectué avec l'appui technique du Musée océanographique de Monaco.

ANALYSE TEMPORELLE DE LA TEMPERATURE DE SURFACE DE LA MER DANS LA BAIE DE MONACO
RELATION AVEC LA TEMPERATURE DE L'AIR

N. BETHOUX* & F. IBANEZ**

*Centre Scientifique de Monaco, 16, Bd de Suisse, MC MONTE CARLO

**Station Marine de Villefranche sur Mer

A time analysis of the sea-surface temperature in Monaco's bay is carried out using a serie of daily measurements made from 1946 to 1961. By spectral analysis characteristical waves are found. The time relation of this serie allow the prediction in short time of the variability of sea-surface temperature. The variation of this parameter follow the general climatic changes of the same time. Their consequences can be observed in the hydrological system of the Ligure sea.

Cette étude est fondée sur l'exploitation des mesures quotidiennes de températures de surface de la mer et des paramètres météorologiques collectés de 1946 à 1961, à Monaco.

En moyenne mensuelle la température de la mer, T_s , peut se mettre sous une forme sinusoidale :

$$T_s = 18,23 - 5,77 \cos \left(\frac{\pi t}{6} - \frac{\pi}{3} \right) \text{ } ^\circ\text{C}$$

t variant de 0 à 12 mois.

La température de la mer de 1946 à 1961 n'est pas stationnaire ; une légère tendance décroissante apparait surtout vers les années 1956, 57, 58. Il existe, en outre, deux fortes anomalies négatives des écarts de T_s par rapport à la moyenne mensuelle ($-1,8^\circ\text{C}$ et $-1,6^\circ\text{C}$) correspondant à l'été 1954 et à l'hiver 1956.

Grâce à la fréquence quotidienne des mesures, l'analyse spectrale de T_s est effectuée sur les séries de moyennes hebdomadaires et par quinzaine, ce qui permet de mettre en évidence des ondes de faibles périodes. On déduit des différents spectres, six pics caractéristiques de période : 38 jours, 45 jours, 4,5 mois, 10 mois, 22 mois 53 mois. Les fluctuations les plus longues ont déjà été trouvées pour la température de surface de la mer de régions très différentes (SERVA IN 1976, SARUKHAYAN et SMIRNOV, 1970), ce qui confirme leur caractère général : elles sont à relier aux cycles de la circulation atmosphérique. Les ondes de hautes fréquences semblent dues aux fluctuations de la pression atmosphérique. Les relations temporelles trouvées pour la série des moyennes par quinzaines permettent d'établir un modèle de prédiction donnant la température de surface de la mer au temps t (en quinzaine) à partir des 60 valeurs précédentes observées.

En moyenne mensuelle, on trouve une bonne corrélation entre température de l'air et température de la mer. Le calcul des corrélations croisées permet d'établir suivant la saison, le temps de réponse moyen de la mer aux fluctuations de la température de l'air : une semaine à la fin de l'été, 1,5 mois à la fin de l'hiver ; en outre,

la réaction de la mer à une brutale variation de la température de l'air est analysée en détail grâce à la fréquence quotidienne des données.

En examinant les résultats des mesures océanographiques faites en mer Ligure pendant cette période, on retrouve l'influence des fluctuations climatiques observées de 1946 à 1961 sur la structure hydrologique de la région.

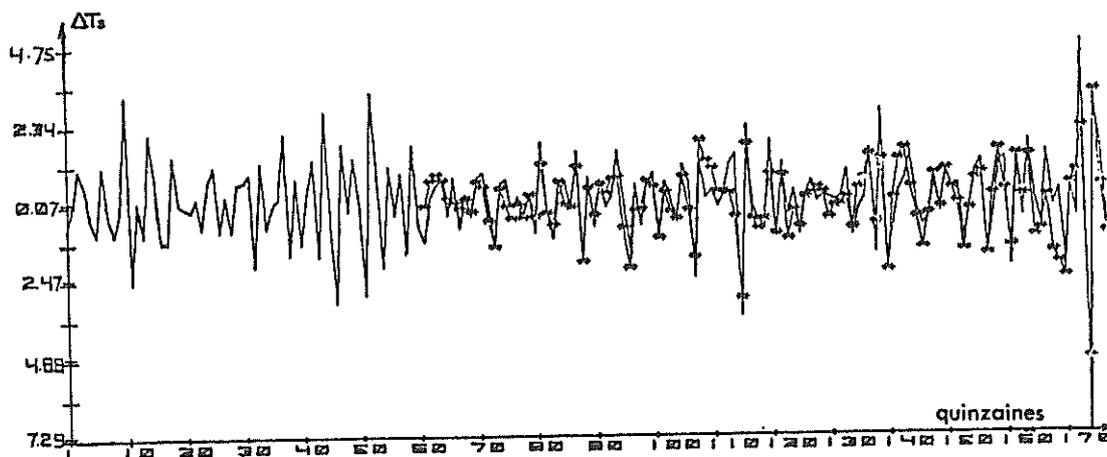
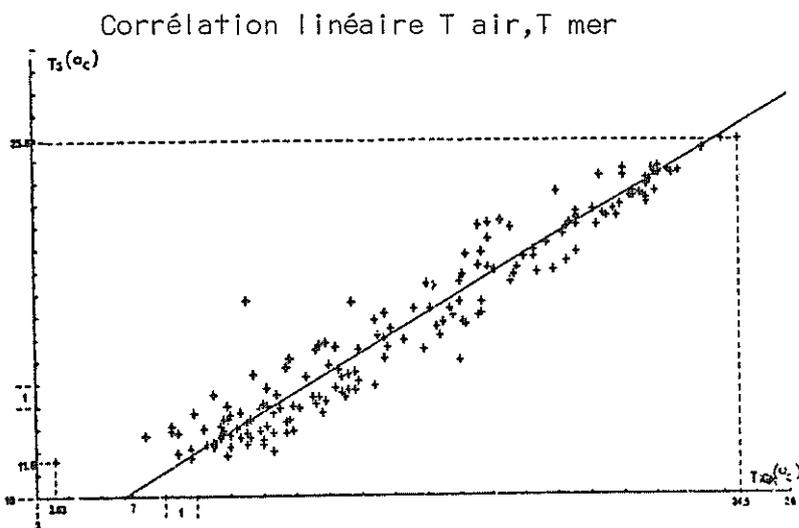
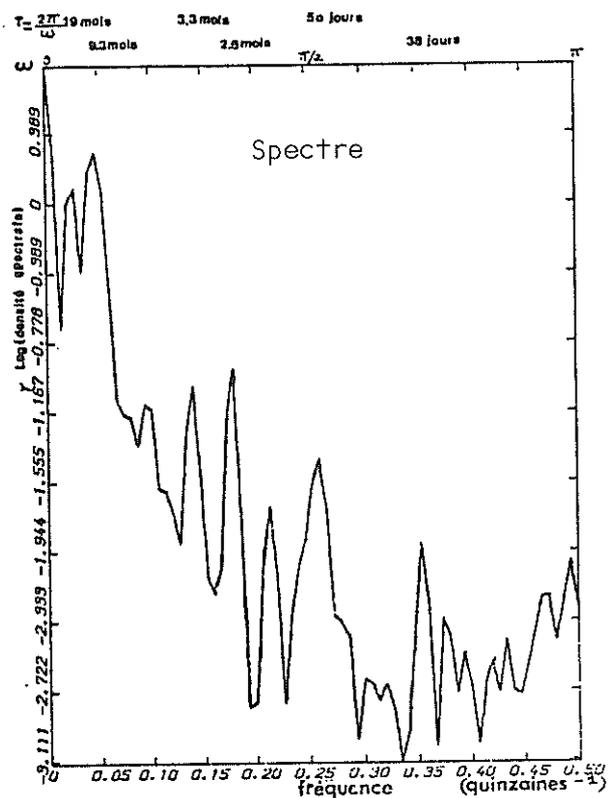
BIBLIOGRAPHIE

SARUKHANYAN (E.I.) et SMIRNOV (N.P.), 1970. - On the use of a genetic method to forecast year-to-year water temperature fluctuations in the Barents sea. *Oceanology*, 10, 4, pp. 471-478.

SERVAIN (J.), 1976. - Etude statistique de l'ensemble des données hydrologiques recueillies depuis le début du siècle en mer Celtique. *Rapp. 4, Univers. Bretagne Occidentale*, pp. 1-143.

REMERCIEMENTS

Nous remercions pour leur aide R.VAISSIERE et J.L.RAPAIRE du CSM, ainsi que M.ETIENNE de la Station Marine.



Prédiction, valeurs réelles —, valeurs calculées +++

PROBLEMS OF STORAGE OF VARIOUS SUBSTANCES FOUND IN THE INTERSTITIAL WATERS OF THE SURFACE SEDIMENTS OF THE FRENCH CONTINENTAL SHELF

C. Baglinière*, J. Cenciarini*, F. Fernex*, R. Pucci** and
R. Vaissière**

*Laboratoire Géodynamique Sous-marine, Stat. Marine,
06230 Villefranche/Mer, Lab. Ass. CNRS 197 "Ens. Séd.", France

**Centre Scientifique Monaco, Musée Oceanographique, Monaco

ABSTRACT

Contents in dissolved nutrients and in anionic surfactants found in interstitial waters of superficial sediments vary in course of time. The observed decreases of the concentrations result of both "in situ" utilisation and diffusion (s.l.) of these substances into the open sea.

Key words : nutrients, surfactants, interstitial waters, superficial sediments.

INTRODUCTION

Studies have been carried out for several years on the concentrations of a number of substances or ions found dissolved in the water extracted from the surficial sediments of the continental shelf of the Côte d'Azur (Baglinière, 1978, 1979 ; Fernex et al., 1979). These include nutrients and surfactants. The studied sediment samples were mainly collected between 15 and 100 m, from the N.O. Catherine-Laurence and Korotneff of the Marine Station of Villefranche-sur-mer, and the waters extracted by centrifugation at 2000 t/min and passed through a cellulose acetate filter of pore size 0,45 μ .

Some of these substances, for example the detergents, seams for the main part brought into the sediments during the processes of sedimentation. Others, for example ammonium, may be formed "in situ" as a result of the transformation of organic material. Others, again, may result from both processes.

HORIZONTAL DISTRIBUTION (Fig. 1, 2, 3)

At any given time of year, the concentrations vary from region to region, especially for ammonium and the surfactants. For example, the region of Nice and the Bay of Villefranche are particularly rich, on average, in ammonium. The concentrations can exceed 500 or 600 μM NH_4/l (in Nov. 1978) ; and those of nitrates are relatively poor. There is also a relatively scarcity of anionic detergents, which is perhaps surprising in view of the fact that Nice is the most important

city of these regions. Possibly, this may reflect the efficiency of the purification system of the town (fats extraction) ; or, alternatively, the anionic surfactants may be here quickly destroyed by biological activity. It is even possible that this low obtained values may be due to differences in the efficiency with which the interstitial waters are extracted from varying sediments (Arnoux et Chamley, 1974).

SEASONAL VARIATIONS (Fig. 4, 5, 6)

On the continental shelf large variations are found during the year in the concentrations of substances dissolved in the interstitial waters. These concentrations may follow annual cycles which are shifted relative to those known for the open sea (Fernex, 1977 ; Fernex et al., 1979 ; Baglinière, 1978, 1979). In November 1978, following a prolonged period of good weather, the concentrations of ammonium were very high in the superficial sediments of the Bay of Nice, reaching at some points a value of 1000 µg/l. In January, after the winter storms, the concentrations decreased considerably (up to 100 times).

It would appear that many of the decreases in concentrations observed result more from the liberation of these substances stored in the interstitial waters into the sea than from "in situ" transformations.

High surfactants concentration recorded in April in front of Paillon river are probably the consequences of the rainfalls that happened during March (Fig. 3).

CORRELATIONS BETWEEN THE CONCENTRATIONS OF THE DIFFERENT SUBSTANCES (Fig. 6, 7)

There are no clear correlations between the various parameters which have been studied. In particular, there was no evident relations between the concentrations of dissolved PO₄ and those of the surfactants. An additional factor to be considered in this case is that PO₄ is present in concentrations close its saturation level. They are dependent, therefore, not only on the rates of production, utilization and diffusion but also on precipitation. However, one may note also the striking resemblances between the shapes of the graphs of average vertical distribution of PO₄ and NH₄ found in certain areas.

CONCLUSIONS

From all these observations it would appear that there are opportunities for dissolved substances (nutrients, detergents, ...) stored in the interstitial waters to be liberated into the seawater, where the concentrations of these substances will be considerably increased, for ex. in a water column of 50 or 60 meters, the concentrations in N of dissolved nutrients would be multiplied by a factor 2.

However, relation with the observed variations, the respective part of the fluxes and the microbiological activity must be studied with much details.

Storing Nutrients and Surfactants from Superficial Sediments

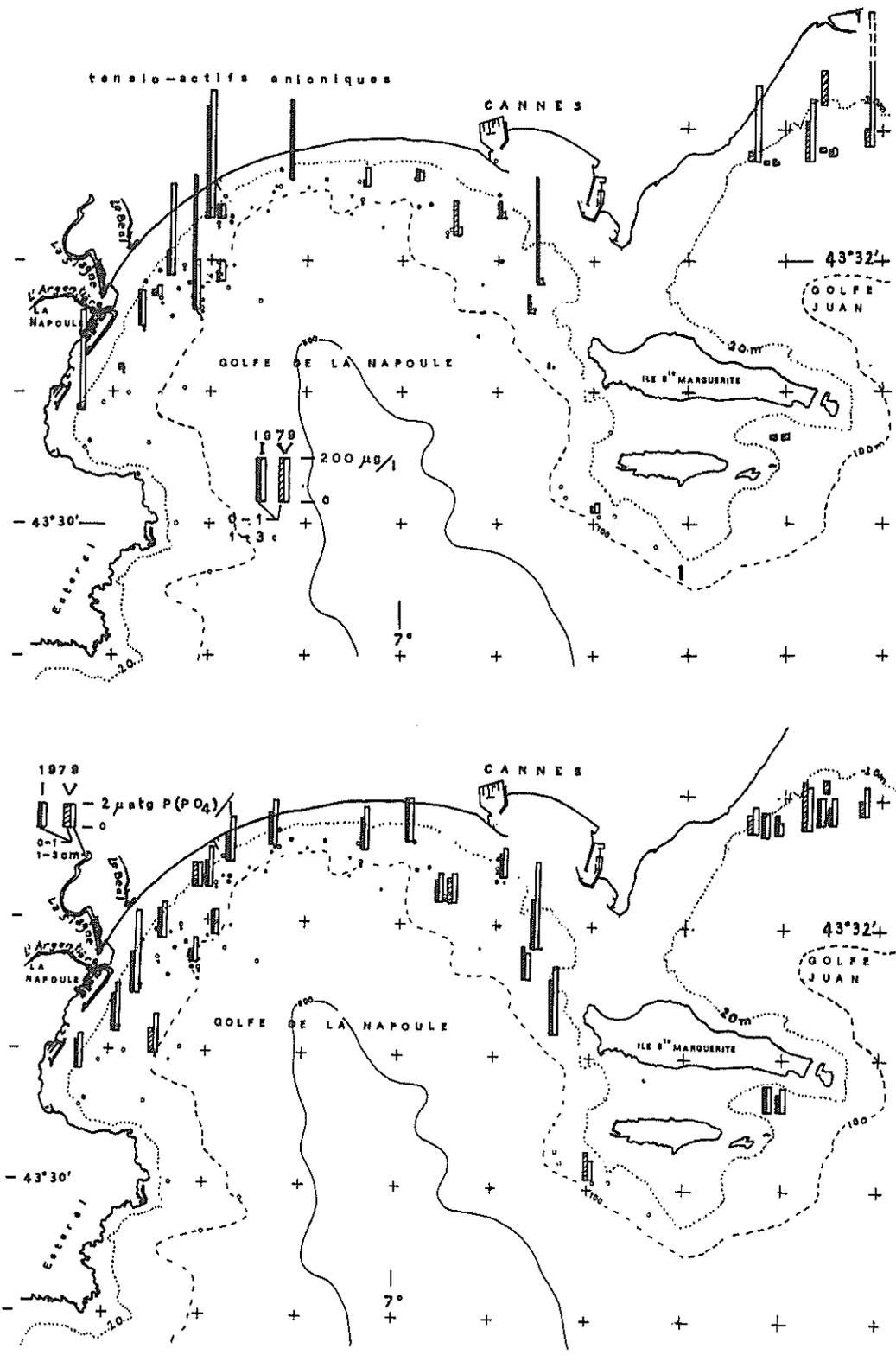


Fig. 1. Distribution maps of anionic surfactants and of dissolved phosphates in the interstitial waters of the superficial sediments in the Golfe de La Napoule. January and May 1979, two levels : 0-1 and 1-3 cm under the interface.

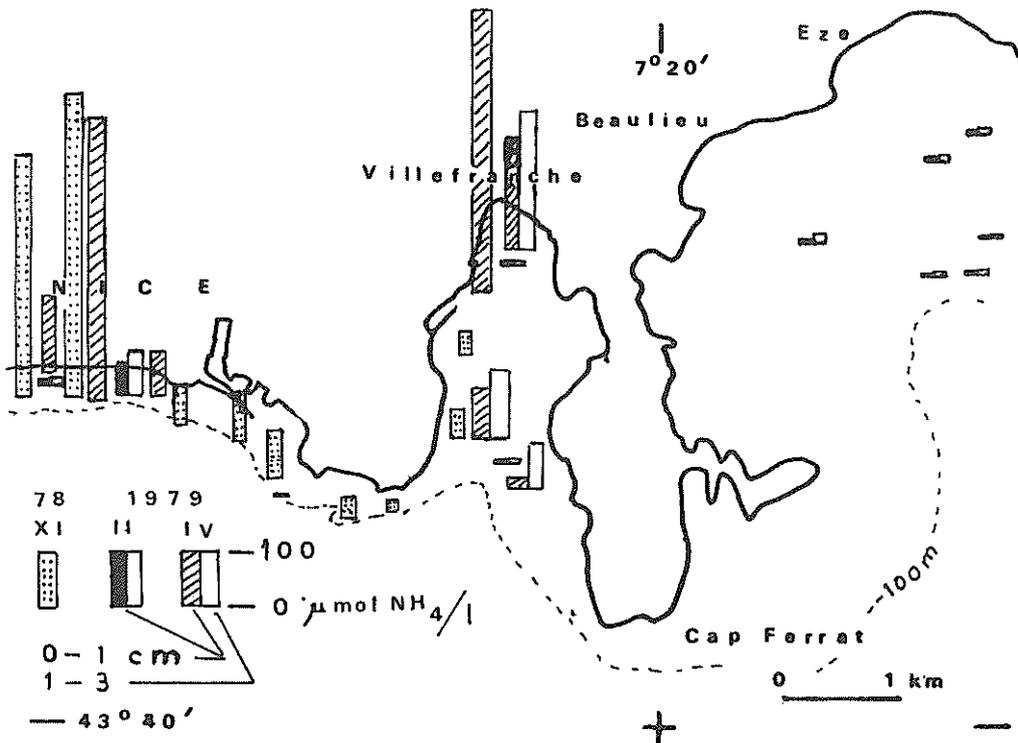
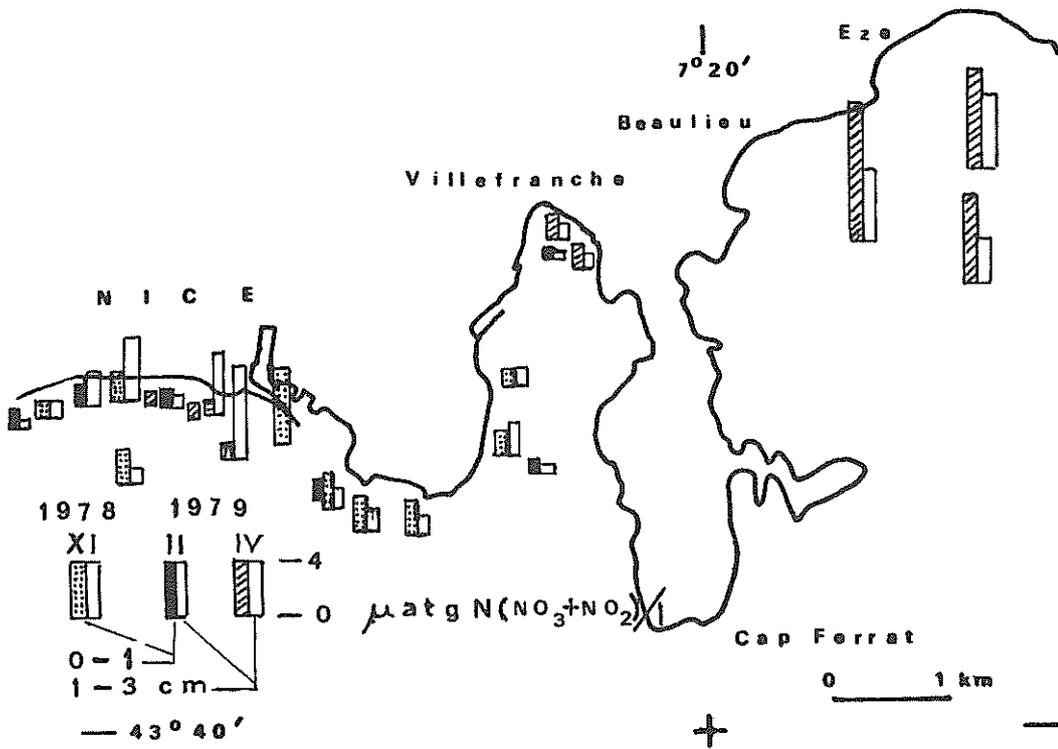


Fig. 2. East Nice and Villefranche. Distribution maps of nitrates + nitrites and ammonium. November 1978, February and April 1979.

Storing Nutrients and Surfactants from Superficial Sediments

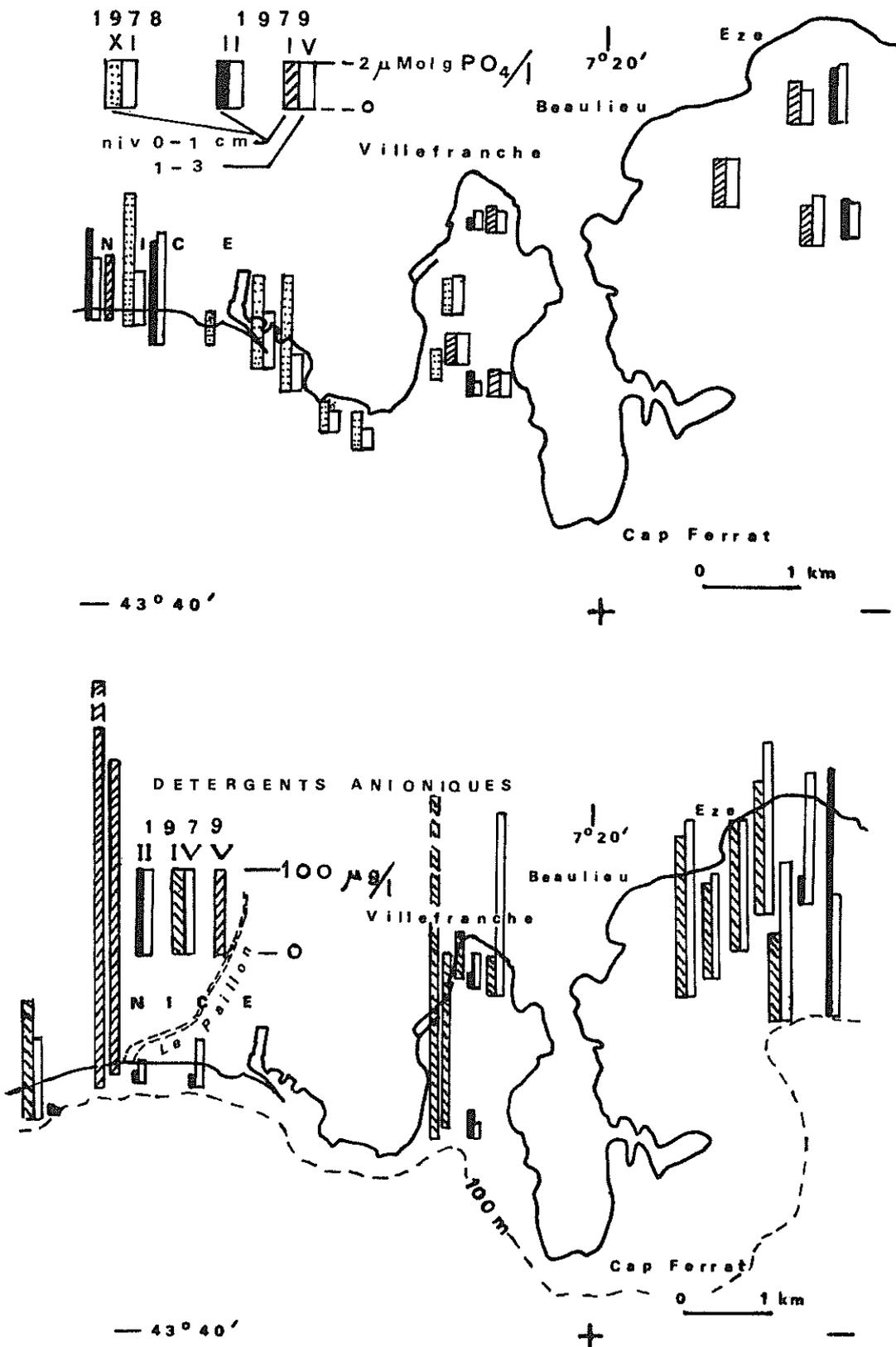


Fig. 3. East Nice and Villefranche. Distribution maps of phosphates and anionic surfactants Nov. 78, Febr., April and May 1979.

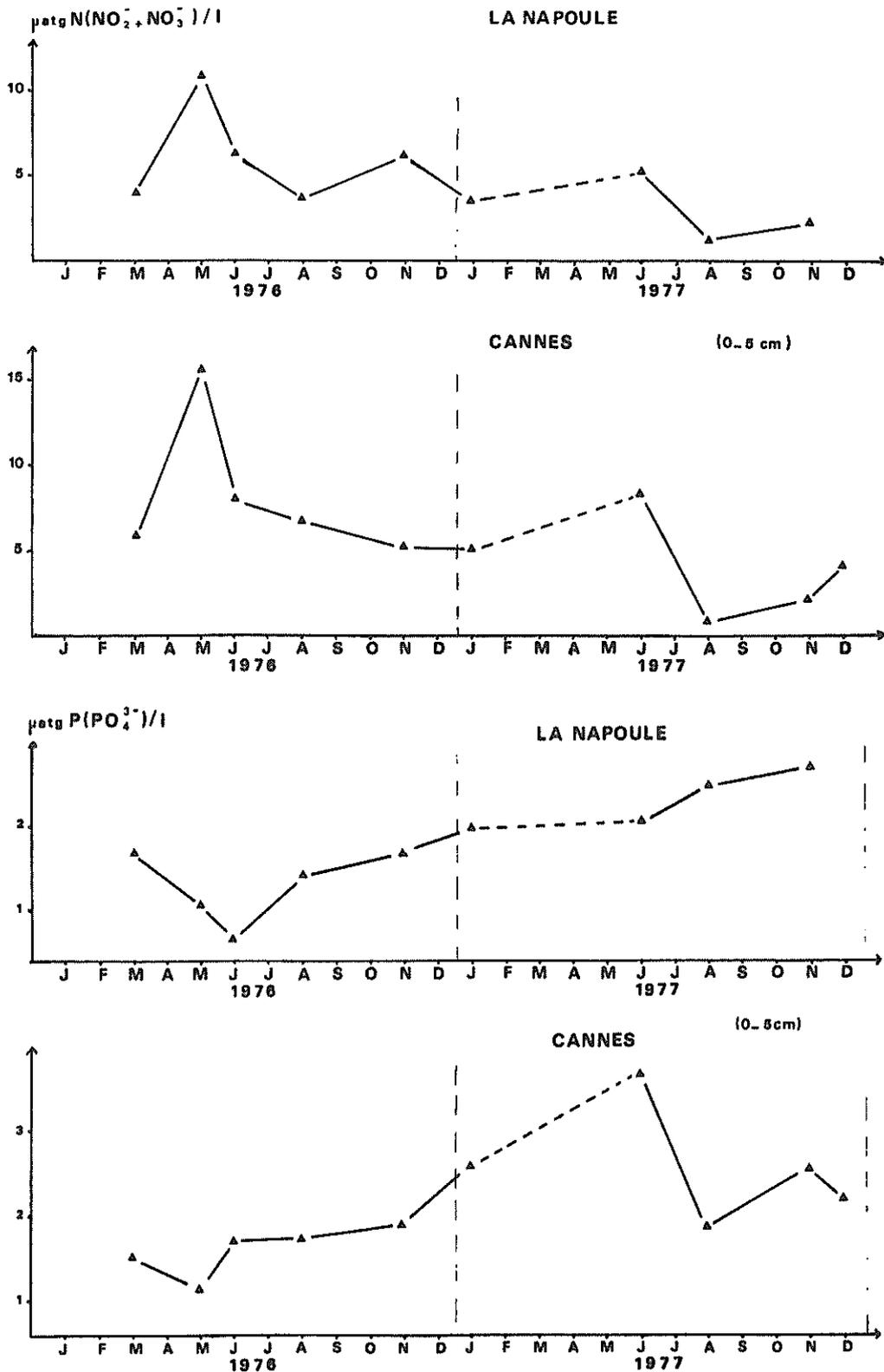


Fig. 4. Seasonal variations of the average concentrations in nitrates + nitrites and phosphates in the interstitial waters in La Napoule (s.s) and Cannes'one. Average values for the 5 first cm of superficial sediments, between 10 and 100 m.

Storing Nutrients and Surfactants from Superficial Sediments

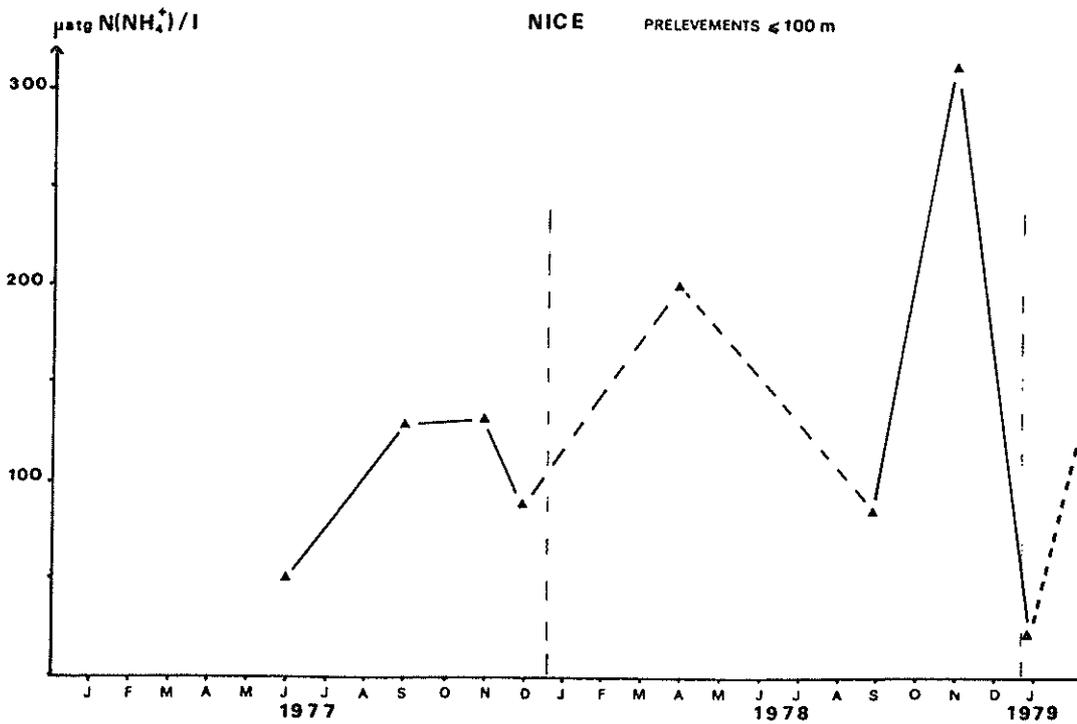


Fig. 5. Variations, in course of time, of the average concentrations in dissolved ammonium for the Bay of Nice. Average values for the 5 first cm of superficial sediments, between 10 and 100 m.

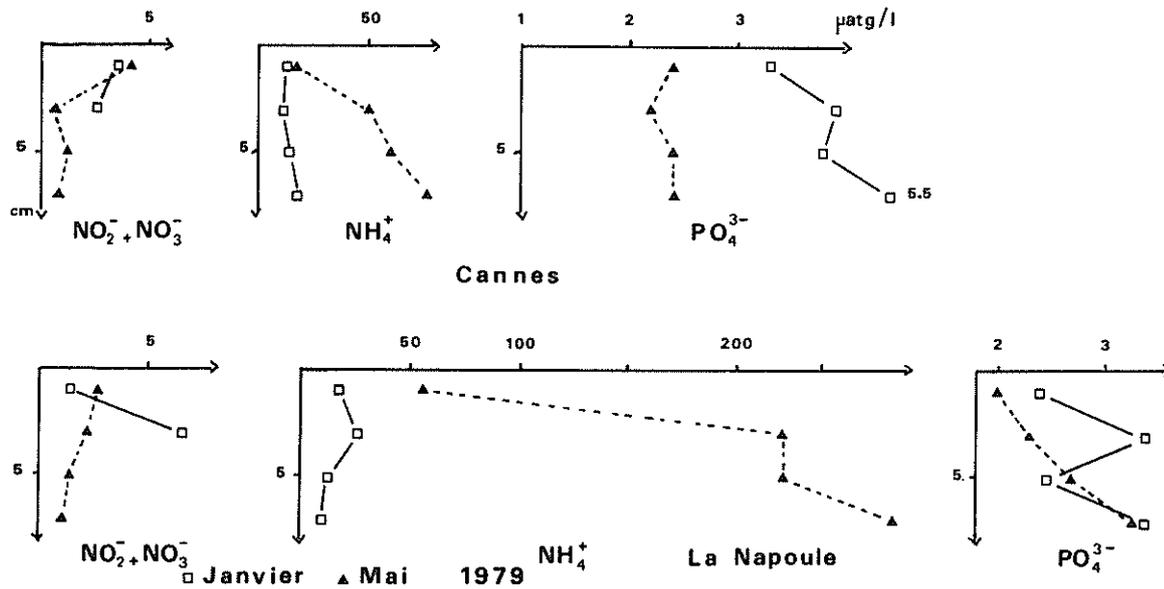


Fig. 6. Average vertical distribution of dissolved nutrients for the Cannes' area and La Napoule's (s.s) one. January and May 1979.

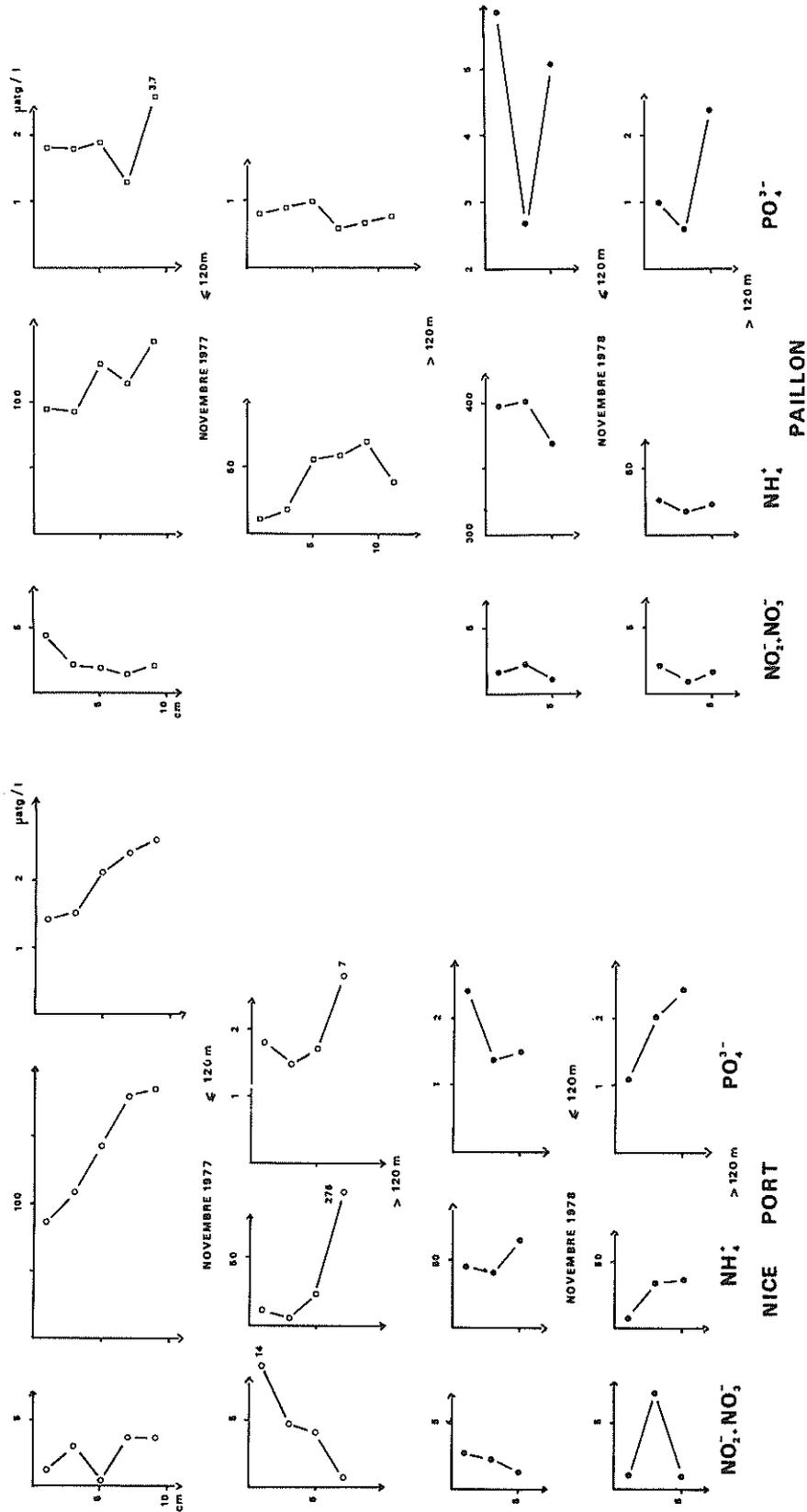


Fig. 7. Vertical distribution of average concentrations in nitrates + nitrites, in ammonium and in dissolved phosphates. Average values for samples collected between 10 and 100 m, and between 100 and 300 m. Nov. 1977, Nov. 1978.

Storing Nutrients and Surfactants from Superficial Sediments

- Arnoux, A., Chamley, H. (1974). Minéraux des argiles et détergents des eaux interstitielles dans les sédiments superficiels du Golfe du Lion. C. R. Acad. Sc. Paris, 278, D, 999-1002
- Baglinière, C. (1978). Répartition et évolution des substances nutritives dans l'eau interstitielle des sédiments de la marge continentale le long de la Côte d'Azur. Thèse 3e Cycle, Univ. P. & M. Curie, Lab. de Géodyn. sous-marine, Villefranche/Mer, 1-114
- Baglinière, C. (1979). Evolution saisonnière des sels nutritifs dissous dans l'eau interstitielle des sédiments superficiels du plateau continental méditerranéen (Côte d'Azur, France). C. R. Acad. Sc. Paris, 220, D, 26 Mars 1979, à paraître
- Baglinière, C., Fernex, F., Laurent, R. (1977). Les substances nutritives dissoutes dans l'eau des sédiments superficiels du plateau continental le long des Alpes Maritimes. Journ. Rech. Océanogr., II, 1, 2-3
- Billen, G. (1977). Etude écologique des transformations de l'azote dans les sédiments marins. Thèse, Sciences, Ecologie, Univ. Bruxelles, 1-226
- Billen, G. (1978). A budget of nitrogen recycling in North Sea sediments off the Belgian Coast. Estuarine and Coastal Marine Sc., 7, Academic Press (London), 127-146
- Callame, B. (1961). Note sur les échanges de phosphates entre l'eau interstitielle des sédiments marins et l'eau qui les recouvre. Bull. Inst. Océanogr. Monaco, 1201, 1-7
- Fernex, F. (1977). Variations saisonnières de la teneur en silicium dissous dans l'eau interstitielle des sédiments superficiels du plateau continental le long du département des Alpes Maritimes. C. R. Acad. Sc. Paris, 284, 1, 413-416
- Fernex, F. (1977). Diffusion des polluants et dynamique sédimentaire. Rev. Internat. Océanogr. Médic. (CERBOM, Nice), XLVII, 61-67
- Fernex, F., Baglinière, C., Serra, C. (1979). Contribution of sedimentology to the study of the state of health of the bottom along the Côte d'Azur (France). IVe Journ. Etudes Pollutions Marines Médit., CIESM, Antalya, 1978, Monaco, 623-628
- Fernex, F., Baglinière, C., Serra, C. (1979). Variations des teneurs en sels d'azote dissous dans les eaux des sédiments superficiels du plateau continental des Alpes Maritimes. 7e Réunion Ann. Sc. Terre, Lyon, Soc. Géol. Fr., Paris, 188
- Laurent, R., Fernex, F., Baglinière, C. (1977). Contribution de la géologie sédimentaire à l'étude de la pollution du Golfe de La Napoule. Rev. Internat. Océanogr. Médic. (CERBOM, Nice), XLVII, 97-100
- Pucci, R., Vaissière, R. (1979). Méthode d'analyse quantitative par voie automatique des tensio-actifs anioniques en eau de mer. IVe Journ. Etudes Pollutions Marines, CIESM, Antalya, 1978, Monaco, 617-621
- Romano, J. C., Daumas, R., Laborde, P., Sautriot, D. (1977). Variations des sels minéraux au voisinage de l'interface eau-sédiment. J. Rech. Océanogr. (U.O.F.), 2, 1-49
- Serra, C. (1978). Tentative de bilan géochimique de la Baie des Anges. Dipl. DEA, Lab. de Sédimentologie, Univ. de Nice
- Sautriot, D., Romano, J.C., Laborde, P., Daumas, R. (1979). Echanges ioniques à l'interface eau-sédiment en Mer de Norvège et en Atlantique intertropical. Oceanolog. Acta, (CNEOXO), 2, 1, 23-32
- Wollast, R. (1979). Mécanisme de dégradation de l'azote organique dans les sédiments superficiels et leur modélisation mathématique. Coll. Internat. CNRS, Biogéochim. Mat. Organique à l'interface eau-sédiment, Marseille

SPÉCIFICITÉS HYDROLOGIQUES
DES ZONES LITTORALES
ANALYSE CHRONOLOGIQUE PAR LA MÉTHODE CENSUS II
ET ESTIMATION DES ÉCHANGES OCÉAN-ATMOSPHERE
APPLIQUÉES A LA BAIE DE VILLEFRANCHE-SUR-MER

PAR

N. BETHOUX *, M. ÉTIENNE **, F. IBANEZ ** et J. L. RAPAIRE *

MOTS CLÉS : Température.
Analyse spectrale.
Bilan thermique.
Mer Ligure.

KEY-WORDS : Temperature.
Spectral analysis.
Heat balance.
Ligurian Sea.

Résumé

Vingt et une années de relevés hydrologiques hebdomadaires dans la rade de Villefranche sont exploitées dans deux directions différentes :

— l'analyse temporelle des séries de température à différentes immersions;

— la grande dispersion des valeurs conduit à l'utilisation de la méthode économétrique « CENSUS II »; les oscillations trouvées par analyse spectrale sont comparées aux résultats déjà acquis pour d'autres régions océaniques;

— l'évaluation des échanges thermiques océan-atmosphère.

On en déduit la quantité de chaleur échangée par advection, ce qui permet de renseigner sur l'ampleur des mouvements d'eau dans la rade.

Certaines caractéristiques hydrologiques de la station étudiée nous semblent spécifiques à cette zone littorale, mais d'autres paraissent beaucoup plus générales et représentatives de la mer Ligure.

Abstract

**Hydrologic specificities of littoral areas.
Time analysis by the method « CENSUS II »
and evaluation of ocean-atmosphere exchanges
off Villefranche-sur-Mer.**

Twenty-one years of hydrologic measurements in the Villefranche/Mer bay are used in two different ways :

1) Time analysis of temperatures series at several depths. The great variability of values leads us to use the econometric method « CENSUS II ». The oscillations found by spectral analysis, are compared with the results concerning other oceanic areas.

2) Evaluation of ocean-atmosphere thermal exchanges. From this, the thermal advection is evaluated which allows us to have an idea of the amplitude of the water movements in the bay.

Some hydrologic characteristics of the spot studied seem specific to this littoral zone but the others are those of the Ligurian sea.

* Centre Scientifique de Monaco, 16, boulevard de Suisse, Monte-Carlo.

** Station Marine de Villefranche-sur-Mer, F 06230 Villefranche-sur-Mer (France).

Ann. Inst. océanogr., 1980, t. 56, fasc. 2.

I. INTRODUCTION

En mer ligure, des mesures systématiques et de longue durée, à la fois hydrologiques et météorologiques n'ont été recueillies au large que rarement; on peut citer cependant les mesures de la bouée, laboratoire « BOHRA I » de 1964 à 1967, au point

caractéristiques hydrologiques de surface en relation avec les conditions météorologiques entre juin 1963 et janvier 1966.

Pour notre part, nous nous proposons d'exploiter globalement cette série de données hydrologiques

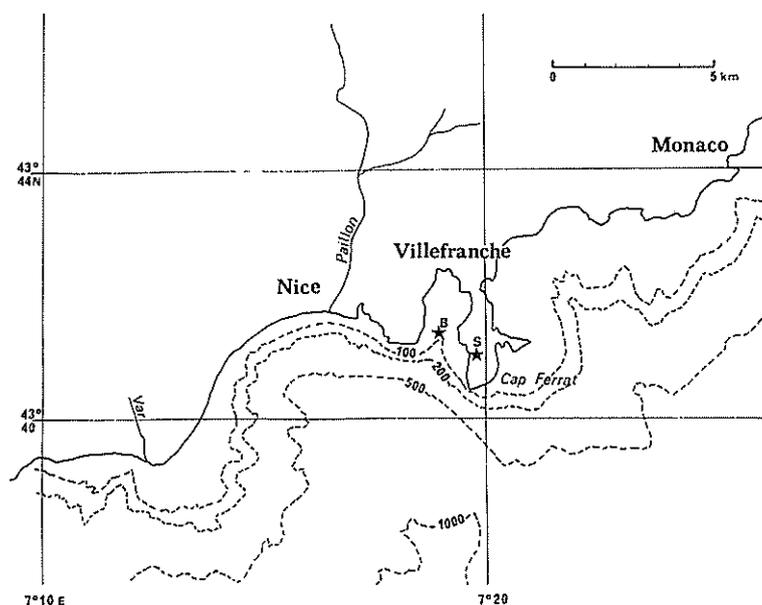


FIG. 1. — Localisation de la station hydrologique et de la station météorologique.

FIG. 1. — Localisation of the hydrologic station and the meteorologic station.

(42°47'N, 07°29'E). La plupart des séries chronologiques ne se réfèrent qu'à des stations côtières, comme le point B à l'entrée de la rade de Villefranche (fig. 1). Depuis 1957, des relevés de température et de salinité y sont effectués chaque semaine à six profondeurs (0, 10, 20, 30, 50, 75 mètres). Cette station est située dans l'axe nord-sud de la baie de Villefranche à la pointe d'un canyon sous-marin atteignant 120 mètres de profondeur à l'entrée de la rade et plus de 1 000 mètres à quelques milles au large. Le point B, tout en présentant des caractéristiques côtières (profondeur 80 mètres) peut être le siège de remontées d'eaux profondes (BOUGIS, 1968).

Une description des variations saisonnières de la température et de la salinité a déjà été partiellement réalisée (BOUGIS et CARRE, 1960; BOUGIS, FENAUX et DEZILIERE, 1965; BOUGIS et CORRE, 1971; NIVAL et CORRE (1976) ont étudié les variations des

(de janvier 1958 à décembre 1978) dans deux directions particulières :

— l'analyse statistique des séries chronologiques des températures à différentes immersions;

— l'évaluation du bilan thermique des échanges océan-atmosphère en utilisant outre les données hydrologiques, les relevés météorologiques de la station du Cap Ferrat.

L'analyse temporelle a pour but principal de rechercher les périodes de fluctuations des températures qui peuvent se révéler soit spécifiques au point B, soit identiques à celles déjà trouvées en d'autres zones marines. Elle constitue donc un critère d'identification des phénomènes thermiques au point B.

De plus, le calcul des échanges thermiques mer-atmosphère permet d'étudier les effets respectifs des conditions climatiques et des phénomènes d'advection marine sur ces profils verticaux des

températures. En outre, à défaut de mesure de courants, l'advection thermique constitue un moyen indirect d'évaluation des flux d'eaux et peut permettre d'expliquer certaines observations biologi-

ques, comme la présence sporadique d'espèces pélagiques mises en évidence dans la rade (BOUGIS, 1968).

II. ANALYSE TEMPORELLE DE LA TEMPÉRATURE AU POINT B

Nous avons utilisé comme données, des moyennes par quinzaine plutôt que les observations hebdomadaires de manière à régulariser nos séries. En effet, le temps séparant deux mesures consécutives n'est pas toujours strictement d'une semaine. Compte tenu des travaux antérieurs, nous avons considéré seulement trois profondeurs caractéristiques : 0, 20 et 50 mètres. Chaque série est composée de 504 termes.

Le travail préliminaire à toute analyse chronologique d'une série de données consiste à désaisonnaliser les mesures et à éliminer une éventuelle tendance : ceci nous conduit à calculer les cycles annuels moyens sur vingt et un ans; à chaque valeur $T(t)$ correspond alors l'anomalie $D(t)$ par rapport à la moyenne. Pour la température de surface, les anomalies $D(t)$ montrent une très grande variabilité atteignant aux alentours de 2 °C en été; l'écart type de la série $D(t)$ est de 0,93 °C. Par contre, à l'immersion —20 m, cette variabilité est déjà atténuée et l'écart type de la série des anomalies de température n'est plus que de 0,30 °C, à —50 m il n'est que de 0,17 °C.

L'examen des séries $D(t)$ ne montre pas de tendance générale régulière au refroidissement ou au réchauffement : la régression linéaire calculée entre $D(t)$ et les valeurs croissantes du temps n'est pas significative. Pour $D_0(t)$, $r = -2,0510^{-4} \pm 0,49$.

a) Analyse spectrale des séries chronologiques.

L'analyse spectrale consiste en une décomposition de la variance totale d'une série selon une bande continue de fréquences. Elle doit s'effectuer sur des séries sans tendance, mais également qui possèdent la propriété de stationnarité, c'est-à-dire, dont les moments de premier et de deuxième ordre (la moyenne et la variance) sont invariants par translation de l'origine des temps. En outre, Box et

JENKINS (1976) indiquent que la fonction d'autocorrélation doit présenter une décroissance exponentielle vers la valeur 0, La fonction d'autocorrélation de notre série D_t , théoriquement désaisonnalisée, montre cependant une rythmicité pour les décalages de 26 quinzaines, indiquant que notre filtrage était insuffisant. Un test de stationnarité fondé sur le comportement de la fonction d'autocorrélation (ROY, 1978) nous amène formellement à conclure au rejet de cette propriété essentielle. L'analyse spectrale de la série $D(t)$ (effectuée en considérant un filtre de Tuckey-Hanning, MALINVAUD, 1978) donne des résultats non significatifs, avec un seul pic important qui correspond à la périodicité annuelle. En fait, non seulement la régression sinusoidale n'a pas corrigé complètement la variation saisonnière, mais elle a conservé les écarts de variance entre l'été et l'hiver. C'est pourquoi, nous avons été amenés à utiliser une technique de décomposition des séries chronologiques très employée en économétrie, la méthode CENSUS II (SHISKIN, 1957).

La méthode CENSUS II.

La méthode CENSUS II suppose qu'une série chronologique pluriannuelle d'observations, peut se décomposer en trois composantes principales :

— une composante générale dite *trend cyclique* $C(t)$, résultant de deux mouvements : la tendance évolutive ou mouvement fondamental du phénomène, et les variations cycliques de longue période. Son profil est relativement lissé, mais les variations de pente sont assez irrégulières;

— une composante saisonnière $S(t)$, dont la courbe lissée relativement régulière, présente une reproductibilité plus ou moins accentuée d'une année sur l'autre. Cette propriété d'isoler un mouvement saisonnier même s'il se modifie d'une année à l'autre, est caractéristique de la méthode de CENSUS II. C'est précisément aussi le cas des fluctuations de la température de la mer;

— une composante aléatoire $I(t)$, dont le profil est irrégulier et qui représente l'apparition d'événements tout à fait occasionnels. Cette composante est théoriquement distribuée normalement et d'auto-corrélation nulle.

Le modèle CENSUS II est multiplicatif, on admet que les observations originelles $O(t)$, sont le produit des trois composantes précédentes :

$$O(t) = C(t) \times S(t) \times I(t)$$

Equation que l'on peut également écrire sous la forme :

$$O(t) = A(t) \times S(t) \text{ avec } A(t) = C(t) \times I(t)$$

lyse numérique on peut se rapporter au livre de PHILIPS et BLOMME (1973) ou à l'article paru à l'Institut National des Statistiques du Royaume de Belgique : Etudes statistiques et économétriques numéro 10 (1965).

Ce type de décomposition pose certains problèmes; il faut s'assurer que :

— la désaisonnalisation est effective; au cours de la procédure de calcul on vérifie que $C(t)$ ne présente plus aucune influence résiduelle;

— la correction adoptée n'a pas modifié le niveau de la série initiale;

— l'on n'introduit pas de mouvements fictifs dans

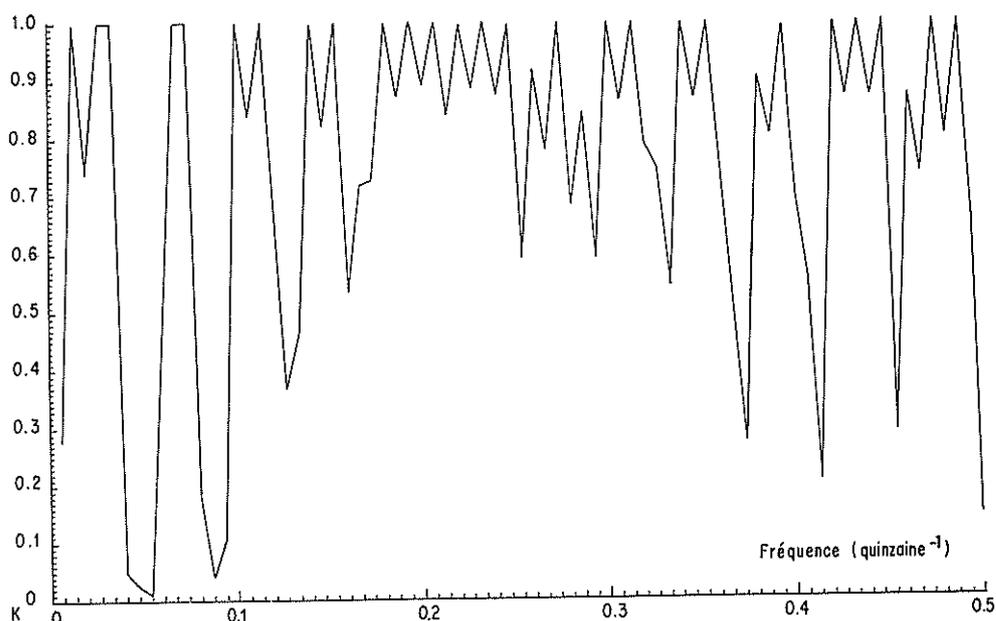


FIG. 2. — Diagramme de cohérence entre les séries $A(t)$ et $O(t)$ déterminées par la méthode « CENSUS II ».

FIG. 2. — Coherence diagram between the serie $A(t)$ and $O(t)$, deduced from the « CENSUS II » method.

En désignant par $A(t)$ la série initiale désaisonnalisée.

Dans ce modèle la composante trend cyclique $C(t)$ et la série originelle $O(t)$ sont exprimées dans les mêmes unités, alors que le facteur saisonnier $S(t)$ et la composante aléatoire $I(t)$ sont exprimés sous forme de coefficients adimensionnels. L'influence saisonnière est supposée être proportionnelle à $C(t)$. Les composants du modèle ($S(t)$, $A(t)$, $C(t)$, $I(t)$) sont estimés par une technique itérative basée sur l'application d'une suite de moyennes mobiles. Pour une description exhaustive de l'ana-

les chroniques : BLOMME (1972) a montré que l'utilisation des moyennes mobiles n'induit pas dans la méthode CENSUS II d'oscillations parasites (effet Slutsky-Yule).

Malgré ces précautions, NERLOVE (1964) et ROSENBLATT (1968) ont proposé des tests de validité de la décomposition beaucoup plus puissants fondés sur les critères de l'analyse spectrale des différentes séries.

1. Test de l'ajustement saisonnier $A(t)$. On ne doit pas obtenir de pics aux fréquences saisonnières

ANALYSE SPECTRALE DE LA TEMPÉRATURE ET BILAN THERMIQUE

dans le spectre de $A(t)$. A ces fréquences le spectre doit être lissé (et non nul).

La cohérence entre $A(t)$ et $O(t)$ doit être faible aux fréquences saisonnières. Si l'ajustement n'a pas produit de décalage, la phase doit être nulle entre ces séries pour les fréquences saisonnières.

$A(t)$ et $S(t)$ doivent présenter une fonction de corrélation croisée égale à 0.

2. *Test de validité de la séparation entre la série désaisonnalisée $A(t)$ et la composante aléatoire $I(t)$.* Le spectre correspondant à $I(t)$ ne doit pas présenter de pics significatifs.

La cohérence entre ces deux séries, pour des périodes comprises entre 24 et 2 quinzaines doit être forte avec un déphasage nul. Pour des périodes supérieures, la cohérence doit être faible et le déphasage peut être quelconque.

La composante $C(t)$ et la composante $I(t)$ doivent avoir une fonction de corrélation croisée nulle.

Dans le cas présent, la méthode CENSUS II a

permis une décomposition tout à fait correcte. A titre d'exemple, nous donnons les résultats de quelques tests concernant la température de surface : la courbe de la *figure 2* montre les cohérences entre les séries $A(t)$ et $O(t)$ pour 73 fréquences différentes. On constate que les faibles valeurs se situent aux périodes saisonnières 24, 12, 8, 6 quinzaines. Le calcul a montré que les déphasages étaient tous nuls pour ces périodes particulières. On peut donc être assuré d'une bonne désaisonnalisation. La séparation entre les séries $A(t)$ et $I(t)$ a été également rigoureuse. Signalons ainsi que les maximums et les minimums des fonctions de corrélation croisées correspondent à 0,08 et $-0,08$, c'est-à-dire, très comparables à 0.

Résultats.

L'analyse spectrale a été réalisée sur les trois séries $A(t)$ relatives aux immersions (0, -20 , -50 m). Pour tenir compte de la variabilité des spectres

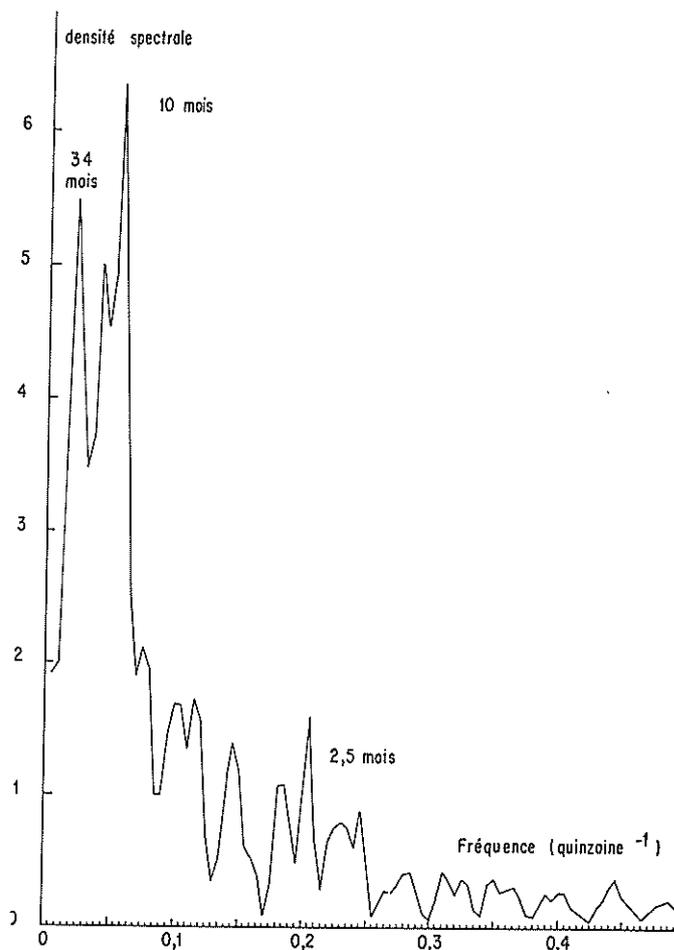


FIG. 3. — Spectre de la série des températures de surface.

FIG. 3. — Spectral density function of the surface temperature series.

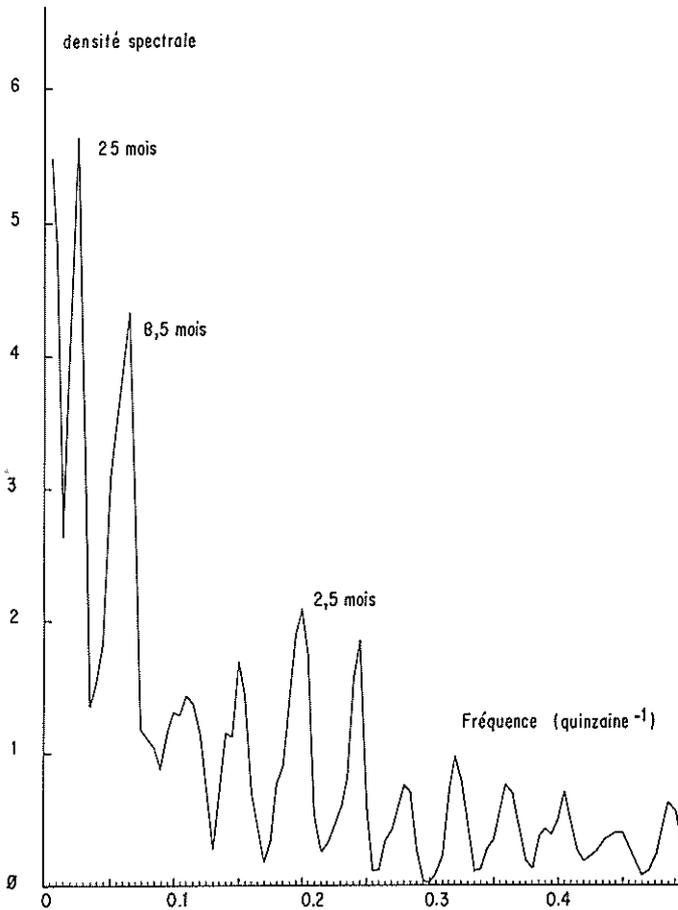


FIG. 4. — Spectre de la série des températures à —20 mètres.

FIG. 4. — Spectral density function of temperatures at —20 meters.

selon le nombre m de fréquences retenues pour la décomposition, nous avons réalisé plusieurs analyses en choisissant m voisin de $N/5$ (N désignant le nombre total d'observations). Pour la surface nous avons pris par exemple les valeurs de m suivantes : 73, 80, 100, 120 et 150. Etant donné la stabilité des résultats obtenus, nous avons choisi le découpage en 100 estimations de fréquences différentes. Tous les calculs ont été effectués grâce à la technique *Fast Fourier transform F.F.T.* (COOLEY et TUCKEY, 1965).

Pour tester la significativité des densités spectrales, on a utilisé la méthode décrite de GRANGER et HATANAKA (1964). On trace tout d'abord un profil d'évolution moyenne par la technique graphique dite des points médians (LIORZOU, 1966), puis on définit une bande de confiance de part et d'autre de celle-ci, dont les limites seront calculées par :

$$\begin{aligned} & \text{Log } f(\omega_j) + \text{Log } T\alpha_{(m, N)} \\ \text{et } & \text{Log } f(\omega_j) + \text{Log } T'\alpha_{(m, N)} \\ \text{avec } & T\alpha_{(m, N)} = \frac{\chi^2_{100} - \alpha^{-x} (2N - m)}{2N - m} \\ & T'\alpha_{(m, N)} = \frac{\chi^2_{\alpha} (2N - m)}{2N - m} \end{aligned}$$

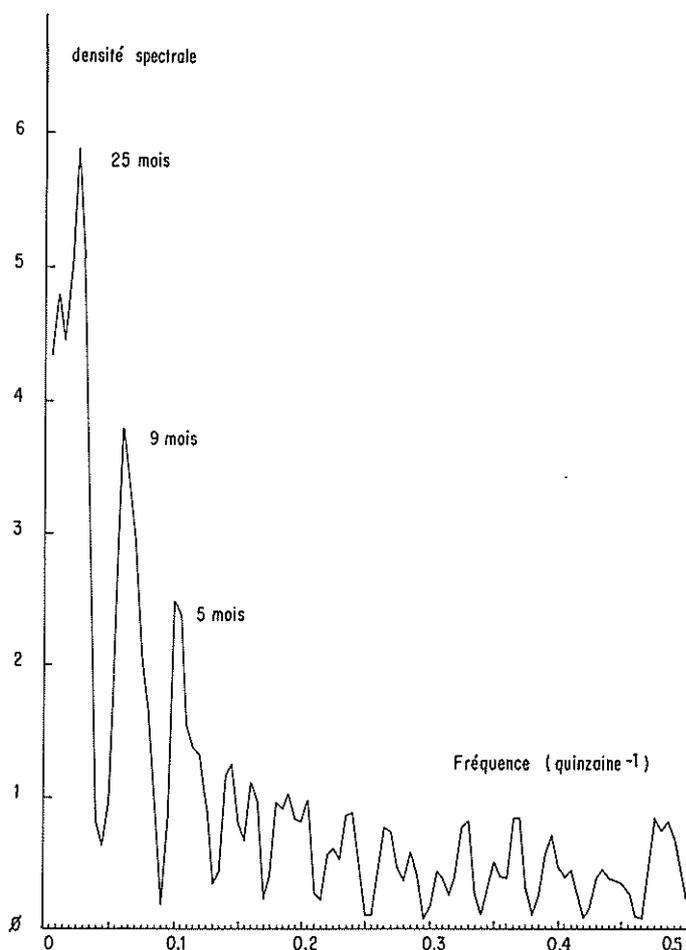
où $f(\omega_j)$ désigne la densité spectrale en un point de la courbe moyenne, N le nombre total de données, m le nombre de fréquences estimées, α la limite de confiance. Si un pic du spectre est situé au-dessus de cet intervalle de confiance il est considéré comme significatif.

On a pu, ainsi, reconnaître l'existence de plusieurs cycles pour les trois immersions :

- 34 mois, 10 mois, 2,5 mois pour 0 mètre;
- 25 mois, 8,5 mois, 2,5 mois pour —20 mètres;
- 25 mois, 9 mois, 5 mois pour —50 mètres.

FIG. 5. — Spectre de la série des températures à —50 mètres.

FIG. 5. — Spectral density function of temperatures at —50 meters.



On peut noter d'après les courbes des figures 3, 4, 5 qu'en surface le bruit de fond est plus important et également que les hautes fréquences y sont plus exprimées qu'en profondeur. Le spectre le plus régulier correspond à celui des températures à —20 mètres. A —50 mètres, les basses fréquences sont nettement marquées, car la température n'est pas affectée par les fluctuations climatiques rapides. Par contre, pour des périodes supérieures à 5 mois, la température y oscille comme au niveau —20 mètres : les pics se situent aux mêmes fréquences avec des amplitudes tout à fait semblables. A partir de —20 mètres, on retrouve l'oscillation « quasi-biennale » que l'on a souvent mise en évidence pour de nombreux paramètres atmosphériques ou océaniques en d'autres régions. L'existence de cette onde est interprétée comme le résultat d'un processus de rétroaction du système interactif atmosphère-océan-terre (BRIER, 1978; NICHOLS, 1979). BRIER a montré qu'on pouvait assimiler ce processus à l'action d'une force périodique sur un système

non linéaire. Selon les conditions qui régissent le milieu influencé, celui-ci peut être soumis à une oscillation de période légèrement différente de la période initiale. C'est pourquoi, on peut observer souvent non pas un cycle stabilisé exactement à deux ans, mais un peu plus long (entre deux et trois ans). SERVAIN (1979) a ainsi trouvé des pics significatifs de trois ans pour certaines zones de l'Atlantique nord. De même, SARUKHANYAN et SMIRNOV (1970) ont mis en évidence des fluctuations de deux ans et demi en mer Baltique. Les oscillations de la température de surface seraient donc produites par un système de forces plus complexe qu'en profondeur, perturbant le cycle de deux ans. Le cycle de neuf mois qui semble correspondre à celui caractéristique de l'activité solaire, présente également une périodicité augmentée en surface. L'hypothèse d'une perturbation des variations de température de surface spécifique à la rade de Villefranche est étayée par le fait que nous avons déjà trouvé les cycles de deux ans, neuf mois et

de mi lors de l'analyse de la température de surface en baie de Monaco (BÉTHOUX et IBANEZ, 1978), à partir d'une série de 15 ans de mesures journalières.

b) Analyse de la cohérence et du déphasage entre les séries désaisonnalisées.

La cohérence est analogue à un coefficient de similitude compris entre 0 et 1 entre deux séries pour une fréquence donnée. Plus précisément, elle teste la dépendance linéaire entre les amplitudes d'une oscillation commune à deux séries. L'estimation du déphasage permet de connaître le décalage entre ces oscillations.

0 et -20 mètres : la figure 6 représente le spectre de cohérence (au carré) pour les séries 0 et 20 mètres, en conservant le découpage de 100 fré-

quences différentes. Les valeurs situées au-dessus de la droite parallèle à l'axe des abscisses sont significativement différentes de zéro au seuil de probabilité 95 %. Cette droite figurant le test de signification est donnée uniquement à titre indicatif, car son estimation rigoureuse repose sur l'hypothèse non vérifiée de binormalité des distributions (GRANGER et HATANAKA, 1964).

Le spectre de cohérence montre des valeurs significatives pour les basses fréquences et deux valeurs très importantes pour des périodicités voisines de deux mois. Les très hautes fréquences n'ont aucune cohérence marquée. La courbe des déphasages (fig. 6) montre deux parties distinctes : en-deçà de la période de deux mois, le déphasage est presque nul et à tendance à augmenter régulièrement. Le signe négatif associé à ces déphasages indique un retard des oscillations de 20 mètres par rapport à celles de surface; au-delà de la période de deux mois, les déphasages sont très marqués avec une succession d'oppositions de signe attestant que les fluctuations rapides sont mal décrites par notre échantillonnage.

Nous noterons que les cohérences correspondant aux cycles longs : 33,3 et 25 mois sont significatives. En consultant les tables données dans l'ouvrage de GRANGER et HATANAKA, nous avons pu définir l'intervalle de confiance à 95 % des déphasages correspondant à ces oscillations et nous avons pu constater qu'elles étaient significativement synchrones. Si le cycle de 9 et 10 mois ne présente pas de cohérence, en revanche nous retrouvons le cycle de deux mois et demi, avec un déphasage significatif de l'ordre de 10 jours.

0 et 50 mètres : le spectre de la cohérence carrée pour les niveaux de 0 à 50 mètres (fig. 7) est très différent du précédent. Au lieu d'un nombre élevé de valeurs significatives dans les basses fréquences, on distingue seulement deux zones à fortes cohérences qui contrastent avec les valeurs très faibles de l'ensemble de la série. Le premier pic correspond à la périodicité de 25 mois et ne présente pas de déphasage significatif. Les cohérences entre deux mois et demi et deux mois, sont également très significatives avec des déphasages nuls ou peu marqués. Le spectre de phase (fig. 7) montre des valeurs erratiques quelle que soit la bande de fréquence considérée.

Finalement, la similitude des signaux en surface et à 50 mètres de profondeur est limitée au cycle biennal et au rythme de deux mois et demi.

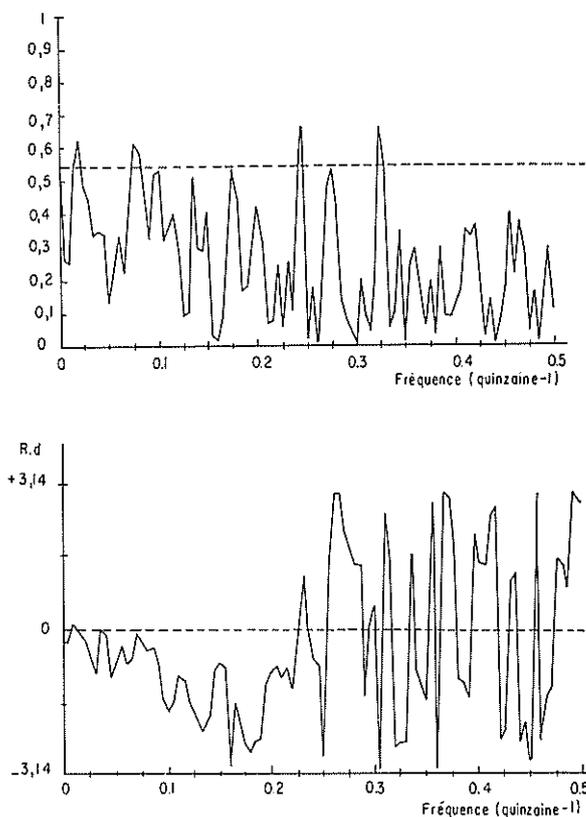


FIG. 6. — Diagrammes de déphasage et de cohérence entre les séries des températures à 0 m et -20 m.

FIG. 6. — Phase and coherence diagrams between temperature series at 0 m and -20 m.

ANALYSE SPECTRALE DE LA TEMPÉRATURE ET BILAN THERMIQUE

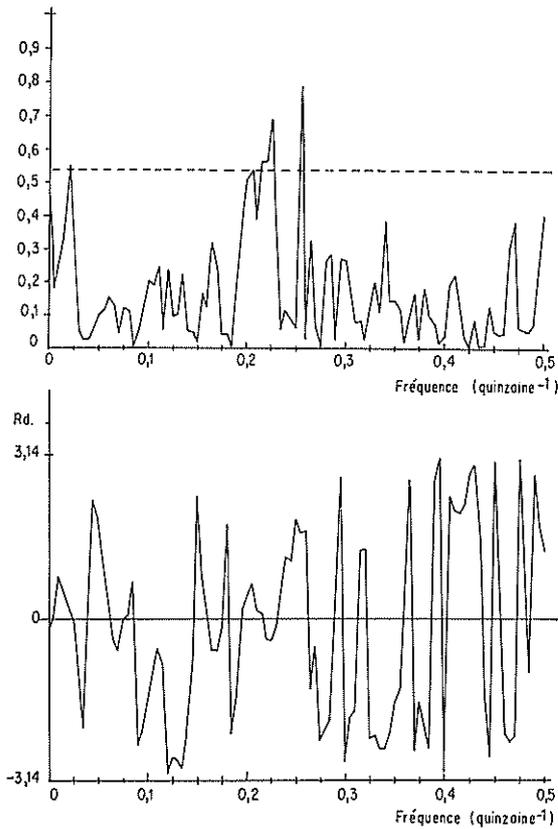


FIG. 7. — Diagrammes de déphasage et de cohérence entre les séries des températures à 0 m et —50 m.

FIG. 7. — Phase and coherence diagrams between temperature series at 0 m and —50 m.

20 et 50 mètres : c'est entre les séries de —20 et —50 mètres que l'on observe les cohérences les plus significatives (fig. 8). L'absence de fortes valeurs est uniquement limitée aux très hautes fréquences (comme entre les niveaux 0 et —20 mètres). Les déphasages (fig. 8) présentent des valeurs relativement voisines de zéro pour les grandes périodes avec une tendance à des décalages de plus en plus accentués, dans un sens ou un autre, au fur et à mesure que la fréquence augmente. On notera qu'au-delà de deux mois de période, la courbe présente une allure purement aléatoire; associée à de forts décalages.

Les cohérences sont significatives pour la majorité des cycles longs : 100, 50, 33,3, 25, 20 mois. Les quatre premiers cycles sont sans déphasages significatifs. Par rapport au schéma des relations entre 0 et —20 mètres, on remarquera ici les fortes

cohérences pour des périodes de 9, 8,33 mois. C'est donc seulement entre 20 et 50 mètres de profondeur que l'on rencontre une corrélation significative entre ces oscillations. Leur déphasage est de l'ordre d'une semaine et demie. La cohérence la plus significative dans le domaine des hautes fréquences correspond au cycle de deux mois et demi, avec un déphasage nul.

En conclusion, l'étude de la cohérence entre les différentes séries de température souligne le rôle privilégié de l'immersion « —20 mètres » pour filtrer les impulsions venant de la surface; le déphasage est en général peu important : au maximum 10 jours. Les périodes où la cohérence est la meilleure entre les différentes immersions sont celles mises en évidence par l'analyse spectrale : 25 mois, 9 mois, 2,5 mois, cycles justement trouvés dans maintes régions océaniques ce qui prouve le caractère général des oscillations régissant les variations des températures au point B.

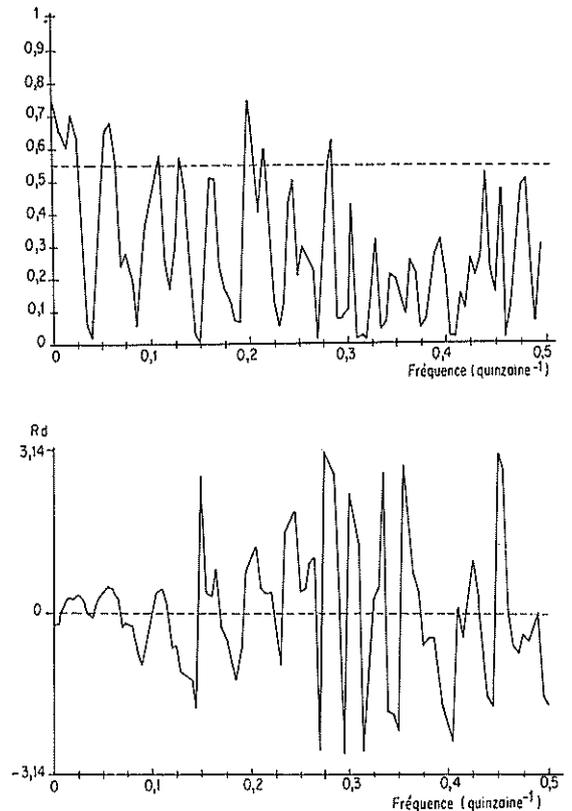


FIG. 8. — Diagrammes de déphasage et de cohérence entre les séries des températures à —20 m et —50 m.

FIG. 8. — Phase and coherence diagrams between temperature series at —20 m and —50 m.

III. ÉVALUATION DES ÉCHANGES THERMIQUES OCÉAN-ATMOSPÈRE AU POINT B

a) Variations du contenu thermique des eaux.

Les profils de température mesurés hebdomadairement au point B permettent l'évaluation à l'instant t du contenu thermique de la colonne d'eau de section unité de hauteur z ,

$$w(t) = \int_0^z \rho c_p T(t, z) dz$$

ρ étant la masse volumique et c_p la chaleur spécifique de l'eau de mer aux salinités et températures

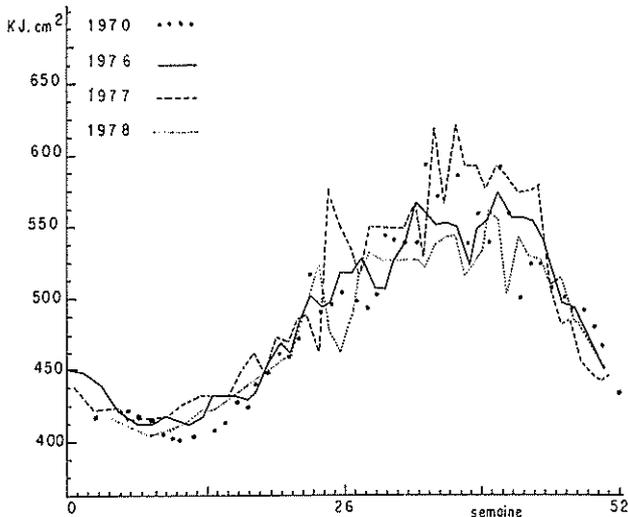


FIG. 9. — Courbes de variation du contenu thermique pour différentes années.

FIG. 9. — Heat content variation curves for several years.

considérées. Ce calcul est effectué ici à partir des données hydrologiques acquises au cours des années 1970, 1976, 1977, 1978, La figure 9 présente les variations saisonnières de $w(t)$ qui d'une année sur l'autre sont comparables. La courbe moyenne de variation du contenu thermique est une sinusoïde d'équation :

$$W(t) = \left[500 - 100 \sin\left(\frac{\pi t}{6} - \frac{\pi}{12}\right) \right] \text{Kj cm}^{-2}$$

t exprimé en mois.

Le minimum a lieu pendant le mois de mars, le maximum en septembre. La valeur de celui-ci peut, cependant, présenter une dispersion assez importante :

$$W_{\max}(1976) = 580 \text{ kj cm}^{-2}$$

$$W_{\max}(1977) = 640 \text{ kj cm}^{-2}$$

L'amplitude de variation annuelle (200 kj cm^{-2}) est analogue à celle obtenue pour les stations du large (N. BETHOUX, 1975).

La variation du contenu thermique des eaux, obtenue à partir de données hydrologiques relatives à deux semaines consécutives, $Q_t = W(t_2) - W(t_1)$, résulte des échanges thermiques avec l'atmosphère d'une part et des phénomènes d'advection marine d'autre part.

Les échanges thermiques avec l'atmosphère sont calculés à partir des données météorologiques journalières du Cap Ferrat et intégrés sur le même intervalle de temps, d'une semaine. Leur connaissance, ainsi que celle de Q_t , permet alors une évaluation indirecte de l'advection marine.

b) Calcul des échanges thermiques avec l'atmosphère.

— $Q_s(1-A)$ représente l'apport solaire diminué de la perte par albédo, A , de la mer. Les mesures quotidiennes d'insolation utilisées sont celles de l'Aéroport de Nice, les valeurs d'albédo choisies sont celles déduites des mesures faites à la Bouée-Laboratoire BOHRA I pour J. BETHOUX (1970).

— Q_n est l'éclairement nocturne. Il est calculé ici avec la formule préconisée par LAEVASTU (1970) :

$$Q_n = [(297 - 1,86 T_s - 0,95 H_u) (1 - 0,765 N) \times 4,18] \text{ J. cm}^{-2} \cdot 24^{\text{h}-1}$$

T_s : Température superficielle de la mer;

H_u : Humidité exprimée en %;

N : Nébulosité comptée de 0 à 1.

— Q_E et Q_C représentent les transferts thermiques par évaporation et convection, ils sont évalués selon la méthode aérodynamique globale suivant les formules :

$$Q_E = [15,94 C_z V (E_s - E_a)] \text{ J. cm}^{-2} \cdot 24^{\text{h}-1}$$

$$Q_C = [10,43 \cdot C_z \cdot V \cdot (T_s - T_a)] \text{ J. cm}^{-2} (24^{\text{h}-1})$$

ANALYSE SPECTRALE DE LA TEMPÉRATURE ET BILAN THERMIQUE

V étant la vitesse du vent exprimée en $m \cdot s^{-1}$, E_s la tension de vapeur saturante à la température T_s de l'eau, E_a la tension de vapeur de l'air à la température T_a , exprimées en mb.

La difficulté d'application de la méthode aérodynamique globale réside dans le choix du coefficient de frottement C_z en fonction notamment de l'échelle de temps des données météorologiques utilisées. Notre évaluation des transferts thermiques étant faite à partir des moyennes journalières des différents paramètres, nous avons adopté, dans un premier temps, un coefficient C_z de $1,5 \cdot 10^{-3}$ (préconisé par BUNKER (1971) et ROBINSON (1966) et étudierons, par la suite, l'influence du choix d'une autre valeur.

L'équation du bilan thermique traduit dans l'unité de temps et l'espace choisie, le principe de conservation de l'énergie.

$$Qt = Q_s (1 - A) + Q_n + Q_E + Q_C + Q_a$$

où Q_n est la résultante de la quantité de chaleur échangée par advection marine. L'évaluation des différents termes étant faite de semaine en semaine, nous présentons les résultats selon deux échelles : tout d'abord, un bilan annuel, puis une interprétation des variations hebdomadaires.

c) Bilan annuel des échanges thermiques.

Sur la *figure 9* le contenu thermique présente chaque année un minimum pratiquement constant à la fin de l'hiver. L'intégration du terme « Qt » sur une année nous donne un résultat nul, ce qui illustre l'équilibre thermique annuel de la mer. Pour les autres termes du bilan, les résultats sont résumés dans le *tableau I*; les valeurs positives correspondent à des gains thermiques pour la mer, les valeurs négatives à des pertes. A titre de comparaison, on y a ajouté le bilan déjà calculé pour BOHRA I

TABLEAU I

| Années | $\sum \frac{Q_s}{(1-A)}$ | $\sum Q_n$ | $\sum Q_E$ | $\sum Q_C$ | $\sum Q_a$ |
|-------------------------|--------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 1970 | 531.53 | -199.61 | -316.06 | -37.48 | +19.13 |
| 1976 | 498.29 | -172.77 | -285.02 | -57.09 | +18.11 |
| 1977 | 519.03 | -166.23 | -250.94 | -41.71 | -51.87 |
| 1978 | 508.07 | -182.54 | -251.42 | 37.65 | -37.97 |
| Bohra I, 1964-1965.. | 520 | -182 | -332 | -41 | +48 |

(J. P. et N. BETHOUX, 1973) pour les années 1964-1965.

L'apport solaire, l'éclairement nocturne et les pertes par conduction sont du même ordre de grandeur à la côte qu'au large. Par contre, les pertes par évaporation évaluées dans la rade de Villefranche sont plus faibles : au Cap Ferrat, les vitesses de vent enregistrées sont nettement inférieures à celles mesurées sur BOHRA I (pour la période 1964, 1965, 1966, la moyenne annuelle des vents sur BOHRA était de 13,6 nœuds, au Cap Ferrat; cette moyenne varie entre 8 et 9 nœuds pour les années étudiées).

Cependant, cet effet thermique de la vitesse de vent est en partie compensée par un taux d'humidité moins élevé qui, au contraire, accentue l'évaporation. Alors que l'advection annuelle moyenne équilibrant les autres termes du bilan est positive au site de BOHRA I (bilan local des échanges océan-atmosphère déficitaire), au point B selon les années, l'advection est soit positive, soit négative, ce qui correspond à un bilan soit déficitaire, soit excédentaire. Les variations des valeurs annuelles de « Q_a » étant principalement liées à celles des pertes par évaporation, ceci nous conduit à étudier l'influence du choix de coefficient de frottement « C_z » sur les valeurs de l'advection annuelle. Pour les années 1970 et 1977, très contrastées du point de vue climatologique (année 1970 caractérisée par un vent fort, une grande sécheresse et une forte insolation, année 1977 pluvieuse et froide), nous avons fait varier C_z de 1.4 à 1.6; en $kJcm^{-2}$. Dans le *tableau II* sont portées les valeurs correspondantes des échanges par évaporation et par convection et les valeurs résultantes d'advection.

TABLEAU II

| Années | C_z | Q_E | Q_C | Q_a |
|--------|-------|--------|-------|-------|
| 1970 | 1.4 | -295.0 | -35.0 | -19.4 |
| | 1.5 | -316.1 | -37.5 | +19.1 |
| | 1.6 | -337.1 | -40.0 | +42.7 |
| 1977 | 1.4 | -234.2 | -38.0 | -68.6 |
| | 1.5 | -250.9 | -41.7 | -51.9 |
| | 1.6 | -267.7 | -44.5 | -32.3 |

Malgré sa variabilité en grandeur et signe, l'advection annuelle moyenne reste un terme mineur du bilan ne représentant au maximum dans les exemples choisis que 16 % de la valeur des transferts thermiques vers l'atmosphère; ce qui est de l'ordre de

grandeur des évaluations faites pour le large (BETHOUX, 1977).

En fait, le bilan thermique annuel ne rend pas compte des variations à plus petite échelle de temps du contenu thermique et par la même, des phénomènes relativement brefs qui affectent la température de l'eau au point B.

Variations hebdomadaires des échanges thermiques. Sur la figure 10 sont portées les valeurs hebdo-

qui représente le bilan des échanges océan-atmosphère à travers la surface marine. Le cycle annuel de $(Q_t - Q_a)$ est bien marqué, résultant d'un bilan positif en été (apport solaire supérieur aux pertes thermiques par évaporation, convection et rayonnement nocturne) et négatif en hiver. L'amplitude de ce cycle est relativement faible et reste bien inférieure aux valeurs atteintes par Q_t et Q_a lors de leurs grandes variations en été et en automne.

Nous avons vu que le calcul des échanges thermiques par évaporation (terme prépondérant des transferts vers l'atmosphère) dépendait du choix du coefficient de frottement (entre 1,4 et 1,6 donc entraînant a priori une incertitude de 10 % sur le calcul de Q_e). Le vent n'étant pas mesuré à 10 mètres au-dessus de la surface de la mer (comme le voudrait l'application stricte de la méthode aérodynamique globale), on peut estimer également une incertitude sur la vitesse de 10 % (à la côte le profil de vitesse des vents est turbulent et l'approximation logarithmique n'est pas valable). Or nos estimations

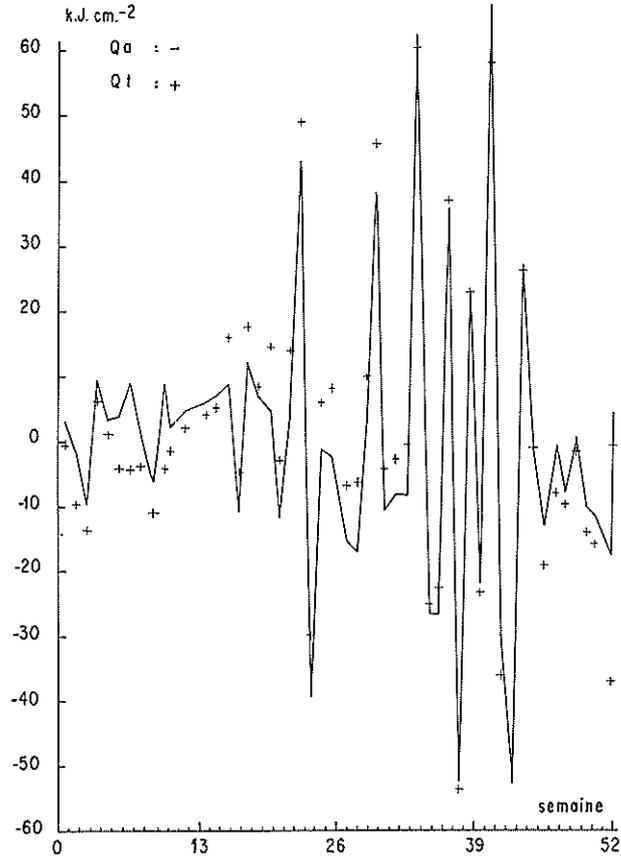


FIG. 10. — Variations de l'advection et du contenu thermique pour 1970.

FIG. 10. — Fluctuations of advection and heat content for 1970.

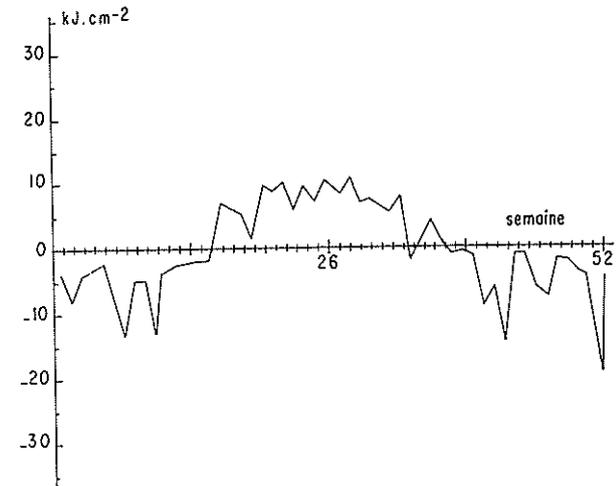


FIG. 11. — Variations saisonnières des échanges thermiques air - mer pour 1970.

FIG. 11. — Seasonal variations of air - sea thermal exchanges for 1970.

madaires de la variation du contenu thermique, Q_t , et celles de l'advection Q_a (déduites du bilan thermique), relatives à l'année 1970. Le parallélisme entre les variations de Q_t et celles de Q_a est remarquable. Sur la figure 11 est tracée la variation, au cours de l'année 1970, de la quantité :

$$(Q_t - Q_a) = (Q_s - Q_e - Q_c - Q_n)$$

hebdomadaires des pertes par évaporation sont en général dix fois plus faibles que la variation du contenu thermique au point B. Même si notre évaluation de l'évaporation est entachée d'une incertitude de 20 %, l'advection thermique reste de toute manière nettement supérieure aux transferts vers l'atmosphère. Notons que les amplitudes de varia-

ANALYSE SPECTRALE DE LA TEMPÉRATURE ET BILAN THERMIQUE

tions de Q_n peuvent atteindre 60 Kj, alors que celles des échanges thermiques ne sont que de 10 Kj environ (*fig. 10 et 11*).

Les échanges thermiques locaux avec l'atmosphère ne semblent donc intervenir que pour une faible part dans les grandes variations du contenu thermique au point B qui dépendent surtout des phénomènes d'advection.

Une étude à une échelle de temps plus fine (la journée) permettrait sans doute de préciser les phénomènes; mais actuellement la fréquence hebdomadaire des relevés hydrologiques ne nous le permet pas.

Les valeurs de « Q_n » peuvent être étudiées en relation d'une part avec les conditions météorologiques et d'autre part avec l'évolution concomitante des profils de température et de salinité. En effet, on ne peut trouver de relations directes entre le nombre de calories « Q_n », dépendant de la stratification de la couche d'eau et de l'ampleur du facteur météorologique pouvant déclencher le processus dynamique : par exemple, une accumulation d'eau superficielle peut correspondre en hiver à une perte de chaleur pour la rade alors qu'en été elle représente un gain net de calories. A défaut de mesures directes de courant, il est possible, tout d'abord, d'évaluer le volume d'eau minimal ayant dû intervenir pour apporter la quantité de calories « Q_n ». Si, entre deux immersions données, de l'eau à la température $T_1(z)$ est remplacée par de l'eau à la température $T_2(z)$ la quantité de chaleur transportée par le courant est donc :

$$Q_n(t) = \rho c_p \int \int V(t, z) [T_2(z, t) - T_1(z, t)] dt \cdot dz$$

$V(t, z)$: flux traversant la section unité (le cm^2) de la colonne d'eau au point B, entre les deux immersions déterminées.

Ce calcul a été effectué pour les années 1970-1977. Les flux obtenus sont alors comparés aux valeurs des composantes du vent suivant les directions nord-sud et est-ouest, calculées le jour, la veille et l'avant-veille de la mesure hydrologique, que les accumulations d'eau superficielle correspondent généralement à des conditions de vent d'est ou de sud-est et les remontées d'eau sub-superficielles sont liées à des vents d'ouest ou de nord-ouest comme l'on déjà remarqué ROMANOVSKY (1950), BOUGIS (1968), NIVAL et CORRE (1976). Cependant, ces relations restent strictement qualitatives : le brassage dans la rade ne semble pas relié à la vitesse du vent au Cap Ferrat. L'intervalle de temps élevé (la semaine) sur lequel est intégré le flux est peut-être un des facteurs d'imprécision de notre évaluation. En fait, les processus dynamiques dans la rade de Villefranche sont évidemment en relation étroite avec les fluctuations de la circulation générale des eaux dans la région. Ainsi, des mesures de courant effectuées à l'entrée de la rade par ST GUILY (1959) ont mis en évidence le caractère transitoire du régime des courants dans cette zone et la difficulté de les relier avec le vent enregistré au Cap Ferrat.

Enfin, lors de fortes précipitations, l'invasion de la rade par de l'eau douce nettement visible sur les profils verticaux de salinité peut affecter le contenu thermique des eaux et provoquer une advection Q_n particulière qui n'est pas en relation directe avec le vent local.

Malgré ces imprécisions, notons que ces évaluations de flux sont actuellement confrontées aux variations de populations planctoniques dans la rade, notamment pour l'année 1970, où mesures hydrologiques et biologiques coïncident (étude en cours).

IV. DISCUSSION ET CONCLUSION

La connaissance de l'hydrologie de la rade de Villefranche est le support nécessaire à toute compréhension des phénomènes biologiques ou physico-chimiques, et justifie donc les relevés effectués au point B. Les études particulières que nous avons présentées, ici, nous semblent encore renforcer l'intérêt de ces mesures hydrologiques systématiques.

Dans un premier temps, l'application de la mé-

thode CENSUS II (réservée jusqu'ici au traitement de séries chronologiques en Economie) s'est avérée tout à fait adéquate pour éliminer rigoureusement l'ensemble des variations saisonnières. Les périodicités significatives (aux alentours de deux ans et neuf mois) de la série désaisonnalisée, sont conformes à celles que l'on rencontre dans la plupart des zones océaniques et correspondent précisément à celles que nous avons décelées dans la baie de

Monaco. Cette généralité montre bien, lorsqu'on considère les variations à long terme de la température de la mer, l'influence prépondérante des mécanismes de rétroaction océan-atmosphère par rapport aux particularismes de la zone côtière. Les perturbations mises en évidence précédemment pour la température de surface sont totalement amorties à partir de vingt mètres de profondeur. De l'étude de la cohérence et du déphasage on déduit que les oscillations périodiques de la température se transmettent simultanément à toutes les immersions. La profondeur moins vingt mètres se signale par sa stabilité et correspond à un bon indicateur à la fois des variations saisonnières et des cycles longs. Finalement, l'analyse au niveau des fréquences nous montre que le point B est représentatif de la mer Ligure. De plus, les amplitudes moyennes des cycles annuels calculés : (température aux diverses immersions, contenu thermique, échanges thermiques avec l'atmosphère) sont du même ordre de grandeur que ceux obtenus au large. Des mesures systématiques au point B, plus faciles qu'à une station hauturière, permettent donc d'étudier des phénomènes qui dépassent largement l'intérêt local.

Par contre, à une échelle de temps plus réduite, la semaine, par exemple, l'évaluation des termes du bilan thermique souligne la spécificité des mé-

canismes hydrologiques propres à la rade de Villefranche. Son caractère littoral est nettement mis en évidence par les valeurs de l'évaporation : comme les vents enregistrés au Cap Ferrat sont généralement beaucoup plus faibles que ceux du large, les pertes par évaporation et conduction se trouvent diminuées. La variabilité de la température semble plus liée au mouvement des masses d'eaux qu'aux variations locales des échanges thermiques avec l'atmosphère. La quantité de chaleur échangée par advection est souvent importante et permet d'évaluer l'ampleur de la circulation des eaux dans la rade.

Notons que les résultats obtenus, ici, sont différents de ceux de COLEBROOK et TAYLOR (1979) concernant des zones littorales autour des îles britanniques, ce qui souligne la « régionalisation » des phénomènes thermiques à petite échelle de temps.

Ces caractéristiques à la fois de zone du large et de zone côtière, du comportement thermique des eaux au point B, compliquent a priori la modélisation des phénomènes; l'élaboration d'un modèle de prédiction devrait, dans ce cas, tenir compte à la fois des cycles significatifs décelés par l'analyse spectrale et de l'influence des paramètres atmosphériques et de la circulation locale sur les variations de la température de la mer.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BETHOUX J. P., BETHOUX N., 1973. — Contribution à l'étude des échanges thermiques en Méditerranée. *U.O.F.*, 5 (4).
- BETHOUX N., 1975. — Evaluation du contenu thermique de la Méditerranée et de ses variations saisonnières. *Thèse*, Paris : 90 p.
- BETHOUX J. P., 1977. — Contribution à l'étude thermique de la mer Méditerranée. *Thèse Doc. Etat*, Univ. Paris 6, 192 p.
- BETHOUX N., IBANEZ F., 1978. — Analyse temporelle de la température de surface de la mer dans la baie de Monaco. *Colloque International « Evolution des atmosphères planétaires et climatologie de la terre*, Nice, 16-20 octobre 1978 : 455-464.
- BLOMME R., 1972. — Analyse spectrale des chroniques : applications des procédés d'ajustement saisonnier. *Rech. Econ. Louvain*, 1972, 3 : 273-300.
- BOUGIS P., 1968. — Le problème des remontées d'eaux profondes à Villefranche-sur-Mer. *Cah. Océan.*, XX : 597-603.
- BOUGIS P., CORRE M. C., 1971. — Conditions hydrologiques à Villefranche-sur-Mer pendant les années 1964, 1965, 1966 et 1967. *Cah. Océan.*, XXIII (8) : 733-754.
- BOUGIS P., FENAUX P., DEZILIÈRE M., 1965. — Conditions hydrologiques à Villefranche-sur-Mer pendant les années 1961, 1962 et 1963. *Cah. Océan.*, XVII : 680-701.
- BOX E. P., JENKINS G., 1976. — Time series analysis. Forecasting and control. *Holden Day Ed.*, 1976.
- BRIER G. W., 1978. — The quasi-biennial oscillation and feed-back processes in the atmosphere ocean-earth system. *Month Weather Rev.*, 106 (7) : 938-946.
- BUNKER A. F., CORNELL M.C., 1971. — Wintertime interactions of the atmosphere with the Mediterranean sea. WHO I, ref. n° 71.61.
- COLEBROOK J. M., TAYLOR A. H., 1979. — Year to year changes in the sea-surface temperature, North-Atlantic and North-Sea, 1948 to 1974. *Deep-sea res.*, 26 (7A) : 825-851.
- COOLEY J. W., TUKEY J. W., 1965. — An algorithm for machine calculation of complex Fourier series. *Math. Computation*, 19 : 297-301.

ANALYSE SPECTRALE DE LA TEMPÉRATURE ET BILAN THERMIQUE

- GRANGER C. W. J., HATANAKA M., 1964. — Spectral analysis of economic time series. Princeton University Press.
- LAEVASTU T., CLARKE L., WOLFF P. M., 1970. — Annual cycle of heat in the northern hemisphere oceans and heat distribution by oceans currents. T.N. 53 FNWC. Monterey California.
- LIOZOU A., 1966. — Initiation pratique à la statistique. Gauthiers-Villars, éd., Paris.
- MALINVAUD E., 1978. — Méthodes statistiques de l'économie. Dunod, éd., Paris.
- NERLOVÉ M., 1964. — Spectral analysis of seasonal adjustment procedures. *Econometrica*, 32 : 241-286.
- NICHOLS N., 1979. — Air-sea interaction and the quasi-biennial oscillations. *Month Weather Rev.*, 106 (10) : 1505-1508.
- NIVAL P., CORRE M. C., 1976. — Variations annuelles des caractéristiques hydrologiques de surface dans la rade de Villefranche-sur-Mer. *Ann. Inst. Océanogr.*, Paris, 52 (1) : 57-78.
- PHILIPS L., BLOMME R., 1973. — Analyse chronologique. Vander, éditeur.
- ROBINSON G. D., 1966. — Another look at some problems of the air-sea interface. *Quart. J. R. Met. Soc.*, 92 (394).
- ROMANOVSKY V., 1950. — Les remontées d'eaux profondes dans la baie de Villefranche-sur-Mer. *Cah. C.R.E.O.*, 2 : 1-7.
- ROSENBLATT H. M., 1968. — Spectral evaluation of B.L.S. and CENSUS revised seasonal adjustment procedures. *Journal of the American statistical Association*, 68 : 472-501.
- ROY R., 1978. — Sur le comportement des autovariances et des autocorrélations d'une série non stationnaire et applications. « Journées des statistiques ». Congrès de Nice, 22-26 mai 1978.
- SARUKHANYAN E. I., SMIRNOV N. P., 1970. — On the use of a genetic method to forecast year to year water temperature fluctuations in the Barents Sea. *Oceanology*, 10 (4) : 471-478.
- SERVAIN J., 1979. — Sur l'analyse statistique des données climatologiques de surface du proche Atlantique : 143 p. *Rapport de l'Univ. de Bretagne Occidentale*.
- SHISKIN J., 1957. — Electronic computer and business indications. *The Journal of business of the University of Chicago*, oct. 1957.
- SAINT GUILY B., 1959. — Mesures de courants à l'ouvert de la baie de Villefranche-sur-Mer. *Cah. Océanogr.*, XI (8) : 602-604.

(Manuscrit déposé le 1^{er} avril 1980,
accepté le 26 octobre 1980.)

EVALUATION DES ECHANGES THERMIQUES OCEAN-ATMOSPHERE
DANS LA RADE DE VILLEFRANCHE/MER
APPLICATION A LA CONNAISSANCE DE LA CIRCULATION DES EAUX

par

N. BETHOUX et J.-L. RAPAIRE

Centre Scientifique de Monaco
16, Bd de Suisse, MC - Monte-Carlo

Résumé

A partir de séries de données hydrologiques et météorologiques hebdomadaires, les échanges thermiques océan-atmosphère dans la rade de Villefranche-sur-Mer, ont été calculés : on met ainsi en évidence le rôle important de l'advection sur l'évolution du contenu thermique des eaux. Les flux verticaux correspondants sont déduits du calcul de l'advection thermique et peuvent aider à l'interprétation des variations d'abondance de certaines espèces planctoniques.

Abstract

Thermal air-sea exchange in the bay of Villefranche have been calculated from series of weekly hydrological and meteorological data. The importance of advection on the evolution of heat budget of the waters is put forward. The corresponding vertical flux are deduced from values of thermal advection and can help the understanding of the variation in the abundance of certain planktonic species.

o
o o

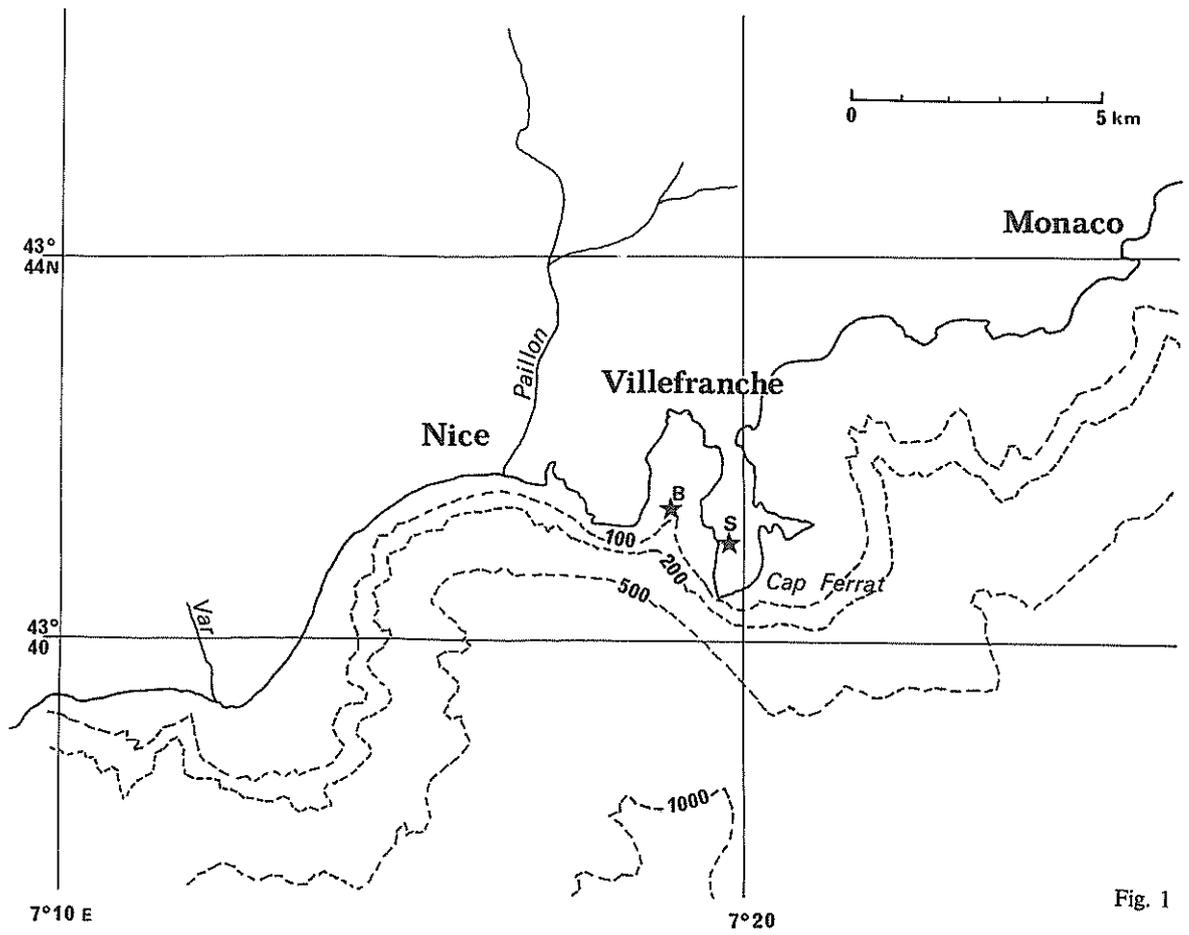


Fig. 1

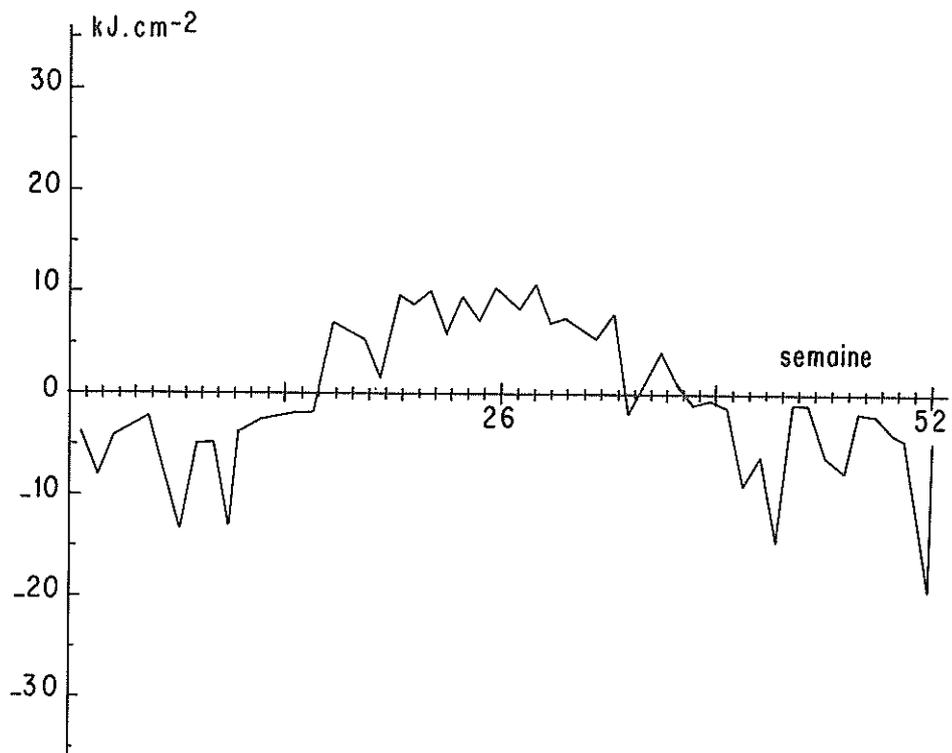


Fig. 2

Depuis 1957, le point B à l'entrée de la rade de Villefranche/ Mer (figure 1) fait l'objet de mesures hydrologiques systématiques. Nous avons pu ainsi exploiter une série de profils de températures relevées hebdomadairement pendant plusieurs années consécutives. La présence d'une station météorologique à proximité immédiate (sémaphore du Cap Ferrat : figure 1) permet l'évaluation des échanges thermiques océan-atmosphère. L'équation du bilan thermique traduit dans l'unité de temps et d'espace le principe de conservation de l'énergie.

$$Q_t = Q_s (1 - A) + Q_n + Q_e + Q_c + Q_a$$

Q_t est la variation du contenu thermique de la colonne d'eau de section unité et de hauteur Z , obtenue à partir des données hydrologiques relatives à 2 semaines consécutives.

$Q_s (1 - A)$ représente l'apport solaire diminué de la perte par Albedo A de la mer.

Q_n est l'éclairement nocturne.

Q_e et Q_c sont les transferts thermiques par évaporation et convection.

De ces évaluations on déduit alors Q_a quantité de chaleur échangée par advection marine en une semaine.

Ces calculs ont été effectués pour 4 années différentes du point de vue météorologique. Le tableau ci-dessous fournit les résultats intégrés sur un an :

| (ANNEES | ($\Sigma Q_s(1-A)$ | (ΣQ_n | (ΣQ_e | (ΣQ_c | (ΣQ_a |
|----------|---------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| (1970 | (531.53 | (- 199.61 | (- 316.06 | (- 37.48 | (+ 19.13 |
| (1976 | (498.29 | (- 172.77 | (- 285.02 | (- 57.09 | (+ 18.11 |
| (1977 | (519.03 | (- 166.23 | (- 250.94 | (- 41.71 | (+ 51.87 |
| (1978 | (508.07 | (- 182.54 | (- 251.42 | (- 37.65 | (- 37.97 |
| (: | (: | (: | (: | (: | (: |

Les valeurs sont exprimées en $Kj. cm^{-2}$

Les valeurs positives correspondent à un apport de chaleur pour la mer, ces résultats montrent que selon les années, la rade est soit excédentaire soit déficitaire en calories, Q_a ne représentant que 5 à 10% de l'apport solaire.

L'étude des variations hebdomadaires des termes du bilan permet d'obtenir des renseignements plus précis sur les transferts thermiques dans la rade.

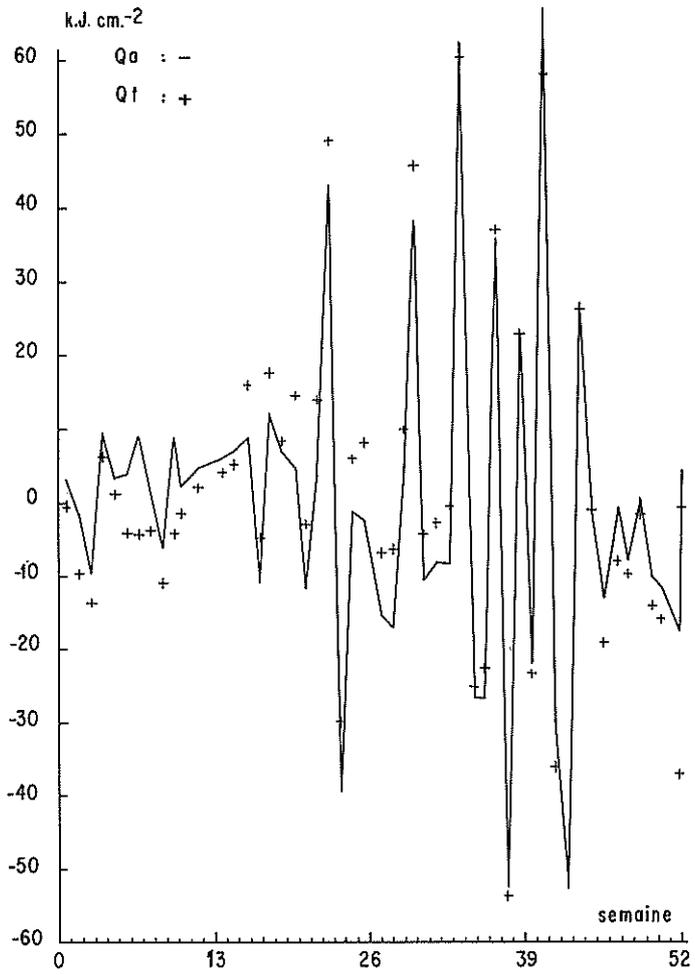


Fig. 3

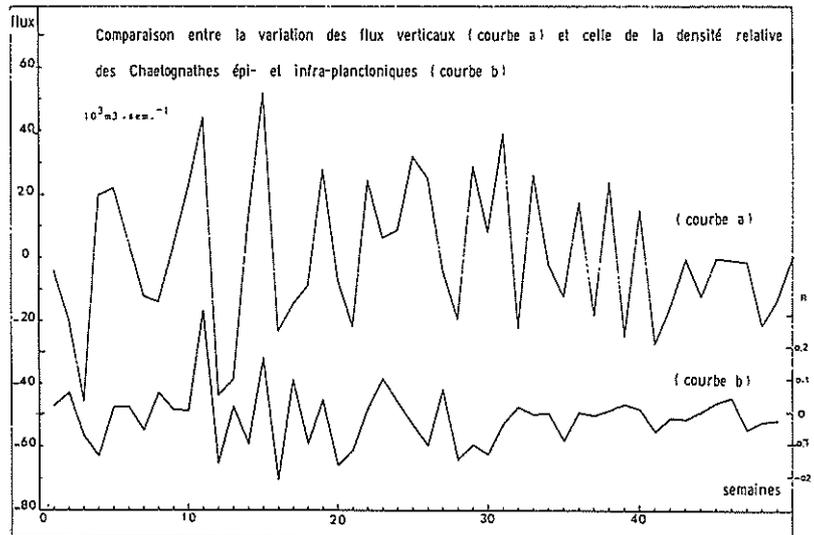


Fig. 4

Sur la figure (2) sont portées les valeurs hebdomadaires de la variation du contenu thermique, Q_t , et celles de l'advection Q_a (déduites du bilan thermique), relatives à l'année 1970 : le parallélisme est remarquable. Sur la figure (3) est tracée la variation, au cours de l'année 1970, de la quantité :

$$(Q_t - Q_a) = (Q_s - Q_e - Q_c - Q_n)$$

qui représente le bilan des échanges océan-atmosphère à travers la surface marine. Le cycle annuel de $(Q_t - Q_a)$ est bien marqué, résultant d'un bilan positif en été (apport solaire supérieur aux pertes thermiques par évaporation, convection et rayonnement nocturne) et négatif en hiver. L'amplitude de ce cycle est relativement faible et reste bien inférieure aux valeurs atteintes par Q_t et Q_a lors de leurs grandes variations en été et en automne. Les échanges thermiques locaux avec l'atmosphère n'interviennent donc que pour une faible part dans les grandes variations du contenu thermique au point B qui dépendent donc surtout des phénomènes d'advection.

Une estimation des flux correspondants est difficile à calculer mais à défaut de mesures directes de courant il est possible d'évaluer le volume d'eau minimal ayant dû intervenir pour apporter la quantité de calories " Q_a ". Si entre deux immersions données, de l'eau à la température $T_1^a(z)$ est remplacée par de l'eau à la température $T_2(z)$ la quantité de chaleur transportée par le courant est donc :

$$Q_a(t) = J \rho c_p \iint V(t, z) (T_2(z, t) - T_1(z, t)) dt.dz$$

$V(t, z)$: flux traversant la section unité (1e cm²) de la colonne d'eau au point B entre les 2 immersions déterminées.

Ce calcul a été effectué pour l'année 1970 où aux relevés hydrologiques correspondent des mesures biologiques simultanées : il semble intéressant de comparer cette évaluation des mouvements d'eau aux fluctuations des populations planctoniques.

Cette démarche a été déjà effectuée par Vives (1971) pour la côte catalane où selon les conditions de vent l'on peut observer un phénomène d'upwelling entraînant une modification de la distribution des espèces planctoniques. De même, dans la rade de Villefranche, l'arrivée sporadique d'espèces pélagiques suit des remontées d'eau profonde (Bougis, 1968). La figure (4) permet de comparer la variation

du flux vertical obtenue par le calcul de "Qa" et celle déduite de l'analyse factorielle de la population de Chaetognate au point B (la courbe représente la composante principale de la quantité de Chaetognate sur l'axe des densités).

L'analogie entre les 2 courbes souligne le rôle d'indicateur hydrologique que peuvent avoir certaines espèces planctoniques. Une recherche statistique sur les relations quantitatives entre les 2 courbes est en cours.

Notons que deux valeurs de flux particuliers ont été éliminées elles correspondaient à l'invasion d'eau douce dans la rade après une période de forte pluie : celle-ci n'ayant évidemment pas les mêmes conséquences biologiques qu'une accumulation d'eau superficielle. Les séries de longue durée de données hydrologiques et météorologiques ont permis l'étude de corrélation entre la pluie et température de la mer ; les hauteurs de pluies journalières ont été relevées aux jours j, j-1...j-30 avant la sortie hydrologique. Les meilleurs coefficients de corrélations sont obtenus pour un décalage de 7 jours entre la pluie et la mesure de la température et un second maximum pour un déphasage de 15 jours.

Ces quelques résultats tendent donc à souligner l'utilité de l'évaluation du bilan thermique : elle a permis de mettre en évidence le rôle primordial de la circulation des eaux sur les fluctuations du contenu thermique et de quantifier les transferts verticaux, importants pour la compréhension des phénomènes biologiques.

Bibliographie

- BOUGIS P., 1968. - Le problème des remontées d'eaux profondes à Villefranche-sur-Mer. Cahiers Océanographiques, XX, pp.597- 603.
- VIVES F., 1971. - L'affleurement d'eau sur la côte catalane et les indicateurs biologiques (Copépodes). Investigaciones Pesqueras XXXV, 1, pp. 161-169.

Nous remercions S. DALLOT (Station Marine de Villefranche-sur-Mer) pour sa communication de la courbe de variation des Chaetognates.

MESURES DE COURANTS DANS LA BAIE DE MONACO

Résultats préliminaires

par

N. BETHOUX, M. BOISSON, C. MARMENTEAU, J-L RAPAIRE, R. VAISSIERE

CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO
16 Boulevard de Suisse
MC98000 MONTE CARLO

Deux courantomètres Anderaa enregistrant simultanément toutes les 10 minutes la direction et la vitesse du courant ainsi que la température de l'eau, ont été mouillés en baie de Monaco sur l'isobathe 90 mètres à 0,5 miles de la côte ($7^{\circ} 25' 32''$ E, $43^{\circ} 43' 28''$ N).

Les résultats de sept campagnes d'une durée de 50 à 60 jours chacune, échelonnées entre Janvier 1981 et Mai 1982, sont présentés ici.

- l'histogramme des directions à 20 mètres comme à 78 mètres présente deux maxima : le premier, le plus important, à $225^{\circ} \pm 15^{\circ}$ (S.W), le deuxième à $35^{\circ} \pm 15^{\circ}$ (N.E.).

- la vitesse des courants, en l'absence de stratification des eaux, est la même à 20 m et à 78 m. En contrepartie, en présence de stratification la vitesse est trois fois plus faible au fond qu'en surface ; cette structure en deux couches est équivalente à celle déjà décrite par J. Gonella, A. Lamy, C. Millot (1977) pour une station côtière dans le Golfe du Lion.

- à 20 mètres, la moyenne des vitesses instantanée calculée sur l'ensemble des mesures de chaque campagne est de $8,5 \pm 0,07$ cm/s avec un maximum de 49,9 cm/s.

- les hodographes correspondants à chaque campagne ne présentent pas de différences significatives suivant les saisons.

- l'étude de ces graphiques révèle des accélérations suivant la direction privilégiée (S.W) du courant. Celles-ci ne sont pas reliées à la météo locale (Cap Ferrat mais semblent être le plus souvent

LISTE DE QUELQUES CAS D'ACCELERATION DU COURANT
DANS LA DIRECTION S.W.

| DATE | VITESSE MAXIMUM DU COURANT A (20m cm/s) | CAP BEAR | VENT | CAP FERRAT |
|-----------|--|-----------|------|-----------------|
| 28. VI.81 | 28 | 19 kt NW | : | 10 kt NE |
| 29. IX.81 | 32 | 35 kt NW | : | 5 kt WNW |
| 02. X. 81 | 40 | 19 kt NW | : | 4 kt SW |
| 11. X. 81 | 35 | 14 kt NW | : | 4 kt W |
| 23. X. 81 | 40 | 22 kt NW | : | 8 kt ESE |
| 14. XI.81 | 28 | 29 kt NW | : | faible variable |
| 29.XII.81 | 30 | 39 kt NW | : | 3 kt SE |
| 02.III.82 | 8 | 29 kt NW | : | 31 kt WNW |
| 06.III.82 | 31 | 37 kt NNW | : | faible variable |
| 20.III.82 | 38 | 23 kt NW | : | calme |

en relation avec des coups de vent de Nord-Ouest sur le Golfe du Lion (Cap Béart) (voir tableau). Ces constatations ressemblent à celles faites par J-P Bethoux (1982) sur des stations situées à l'Ouest de Nice, sur des fonds de 40m, où les mêmes directions privilégiées du courant ont été observées (S.W et N.E).

- les vents locaux forts de secteur Ouest semblent provoquer des courants de direction (N.E).

En présence d'un coup de vent N.W sur le Golfe du Lion et d'un courant N.E à Monaco, on observe un régime transitoire conduisant au rétablissement du courant de S.W par une rotation cyclonique en surface et anticyclonique à 78 m. Ces deux rotations de sens opposés, compte tenu de la topographie locale et des variations des températures en fonction du temps, semblent correspondre à un phénomène de remontée d'eau profonde (upwelling). Pendant ce régime transitoire, on observe quelques fois des oscillations liées semble-t-il à l'intensité des vents au Cap Ferrat.

CONCLUSION

Ces observations sont encore trop fragmentaires et trop localisées pour autoriser une interprétation. Cependant, il est intéressant de noter que la prédominance d'un courant vers le S.W semble liée aux conditions de circulation barocline telles qu'elles sont déduites du calcul géostrophique pour des stations au large.

En première approximation, un parallèle peut être fait entre les fortes accélérations de courant dans cette direction et les coups de vent de N.W dans le Golfe du Lion. Ces accélérations doivent sans doute correspondre à la composante barotrope locale de la circulation.

Il est également intéressant de noter que des observations analogues ont été faites en baie des Anges, ce qui laisse supposer un phénomène de caractère général qui ne sera cependant vérifié, que dans la mesure où d'autres observations pourront être faites sur d'autres stations.

Nous remercions C. Emery pour le travail à la mer, l'équipage du Ramoge pour la réalisation du mouillage et sa maintenance et celui de la Physalie pour le concours qu'il a apporté.

BIBLIOGRAPHIE

J-P BETHOUX (1982), Rapport d'étude des enregistrements de quatre courantomètres mouillés au large de l'aéroport de Nice. Rapp. Int. de la station marine de Villefranche sur mer, n° 22.

J. GONELLA, A. LAMY, C. MILLOT (1977), Upwelling d'été sur la côte méditerranéenne française. Ann. hydrographique 5, 7, pp. 87 à 94.

ANOMALIES DE SALINITE OBSERVEES EN 1981 - 1982

DANS LA BAIE DE MONACO

par

N. BETHOUX, M. BOISSON, J-L RAPAIRE, R. VAISSIERE

CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO

16 Boulevard de Suisse

MC98000 MONTE CARLO

Notre région a subi pendant la période 1980- 1981- 1982 un net déficit des précipitations. Les hauteurs de pluie ont été de 615,1 mm en 1980 et de 720 mm en 1981. Pendant la période Décembre 1980 à Novembre 1981 le bilan a été particulièrement faible : 507,0 mm ; soit un déficit de 40% par rapport à la moyenne annuelle calculée sur 40 ans d'observation (Y. VERNET, 1952), avec comme conséquences un hiver 1980-1981 sans neige. Une quantité notable d'eau est tombée en Décembre 1981 (142,5 mm à Monaco), mais parallèlement la sécheresse s'est accrue pendant le premier semestre 1982 (38 mm de Janvier à Mai). La mer a donc subi en double déficit : les pluies et les apports d'eau douce, particulièrement importants d'habitude à la fonte des neiges.

L'objet de ce travail est de rendre compte des conséquences océanographiques de cette situation météorologique.

Dans le cadre du programme d'étude de la baie de Monaco, des mesures sont effectuées bi-mensuellement aux profondeurs standards, en trois points de la baie et à une station située à 6 milles au large sur un fond de 1100 mètres (point T) de coordonnées (43° . 37'N, 007° . 28'E). Entre Septembre 1978 et Mai 1982, 79 sorties ont été effectuées.

Les salinités mesurées au point T, aux deux immersions : 0 m et 100 m, ont été comparées (tableau 1) aux valeurs moyennes déduites des mesures de Richard, Sirvent et Oxner (1907 - 1914). L'accroissement de salinité depuis 1981 apparait nettement.

Nous avons calculé le contenu de sel au point T en définissant une colonne d'eau de surface unité 1 cm² et de profondeur 200 m. On observe un accroissement pratiquement constant de ce paramètre tout au long de l'année 1981 (fig. 1). Globalement, le contenu en sel de la colonne d'eau a augmenté de 8,082g soit une augmentation de salinité de 0,404‰, passant de 38‰, à 38,4‰, salinité proche de l'eau de

.../...

T A B L E A U I

COMPARAISON DES MESURES DE SALINITE OBTENUES EN 1979-1980-1981-1982
et des VALEURS MOYENNES DE 1907 - 1914

| MOIS | 1979 | | 1980 | | 1981 | | 1982 | | 1907-1914 | |
|-----------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|-----------|-------|
| | Surface | 100 m | Surface | 100 m |
| Janvier | 38.09 | 37.55 | 37.82 | 38.03 | 38.12 | 38.03 | 38.33 | 38.37 | 38.19 | 38.13 |
| Février | 37.80 | 37.99 | 37.85 | 37.84 | 38.11 | 38.23 | 38.19 | 38.17 | 38.06 | 38.14 |
| Mars | 37.47 | 37.95 | 38.05 | 38.09 | 38.24 | 38.22 | 38.24 | 38.23 | 38.08 | 38.17 |
| Avril | 37.77 | 37.86 | 37.86 | 37.99 | 38.10 | 38.12 | 38.20 | 38.22 | 37.45 | 38.06 |
| Mai | 37.89 | 38.09 | 37.93 | 38.08 | 38.29 | 38.33 | | | 37.79 | 38.05 |
| Juin | 37.83 | 38.04 | 37.66 | 37.98 | 37.95 | 38.30 | | | 37.91 | 38.06 |
| Juillet | 37.91 | 38.09 | 38.00 | 38.13 | 38.35 | 38.30 | | | 37.96 | 38.12 |
| Août | 38.15 | 38.14 | 38.15 | 38.06 | 38.45 | 38.27 | | | 38.12 | 38.22 |
| Septembre | 38.16 | 38.17 | 38.13 | 38.05 | 38.52 | 38.36 | | | 38.17 | 38.23 |
| Octobre | 37.97 | 37.81 | 38.03 | 37.99 | 38.46 | 38.32 | | | 38.23 | 38.24 |
| Novembre | 37.95 | 37.99 | 38.05 | 37.91 | 38.36 | 38.23 | | | 37.82 | 38.20 |
| Décembre | 38.17 | 38.11 | | | 38.36 | 38.40 | | | 38.13 | 38.14 |

fond méditerranéenne (H. LACOMBE, P. TCHERNIA, 1972). Il existe une deuxième anomalie liée à la première, dans les observations hydrologiques de 1981-1982. L'eau de surface étant plus dense que d'habitude, les mouvements verticaux ont été favorisés. On observe une thermocline s'approfondissant plus tôt que d'habitude (BETHOUX, 1975) : à 50 m le 20/05, à 75 m, le 10/08.

Les différents termes du bilan thermique de la mer ont été calculés suivant la méthode que nous avons déjà utilisée (BETHOUX, ETIENNE, IBANEZ, RAPAIRE, 1980). Sur l'année, les différents échanges thermiques avec l'atmosphère sont tout à fait conformes aux valeurs moyennes avec notamment un apport solaire plutôt inférieur à la normale et une perte de calories par évaporation très moyenne. La comparaison des valeurs mensuelles des différents paramètres météorologiques (apport solaire, vitesse du vent, nébulosité, humidité..) avec les valeurs moyennes établies sur région, conforte ces résultats numériques : vent et ensoleillement légèrement inférieurs à la moyenne, humidité et nébulosité légèrement supérieurs.

I. AUGMENTATION DE SALINITE DUE AU DEFICIT EN EAU

Les fortes salinité rencontrées ne peuvent pas être expliquées par une évaporation importante à la surface de la mer. Mais si les quantités d'eau évaporées soit : $(Q_E/L \times 4.18)$ mm : chaleur latente de l'eau, calculée entre les deux dates séparant chaque profil hydrologique ne sont pas exceptionnelles, elles ne sont pas compensées par les pluies. On observe donc un déficit en eau douce tout au long de l'année ; déficit aussi bien dû à celui de la pluie qu'au manque d'advection d'eau douce venant de la côte. La conservation du sel dans la mer impose la relation :

$V \times S$: constante avec V : volume de la colonne d'eau étudié

S = quantité de sel de la colonne d'eau

soit en dérivant : $\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta S}{S}$

$\Delta V = E - P$ (E : quantité d'eau évaporée)
(P : hauteur de pluie)

d'où ΔS accroissement de salinité provoqué par le déficit en eau. On calcule alors une salinité théorique :

$S_{cal} = S_1 + \Delta S$ S_1 : salinité moyenne de la colonne d'eau au temps t_1 .

.../...

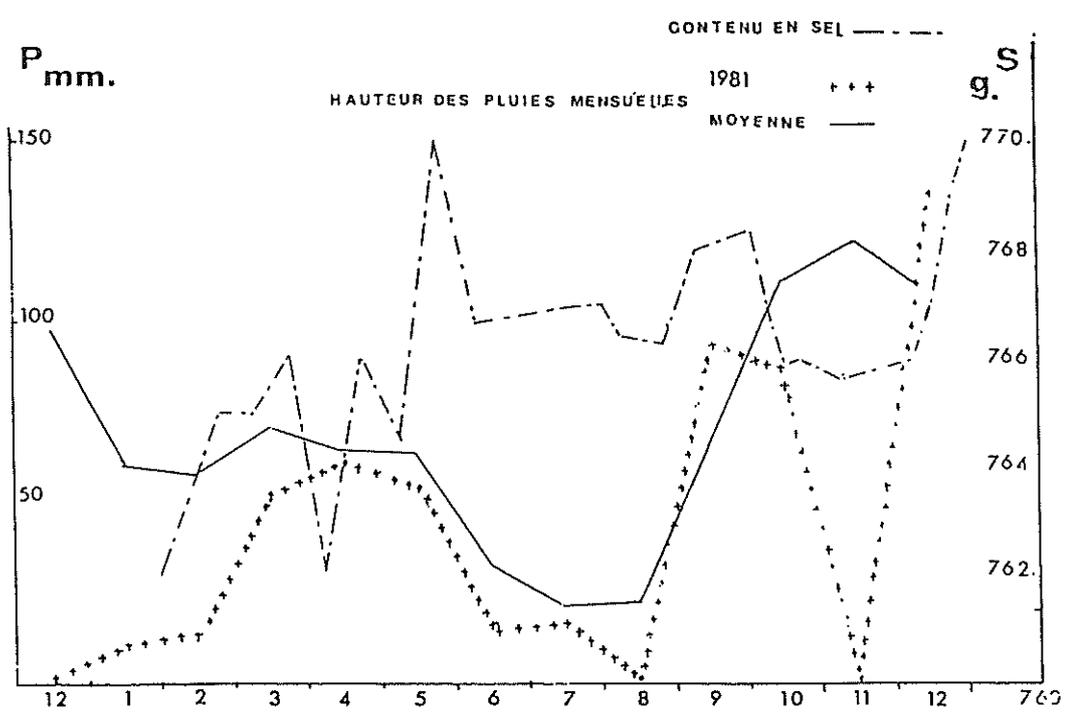


Fig. 1

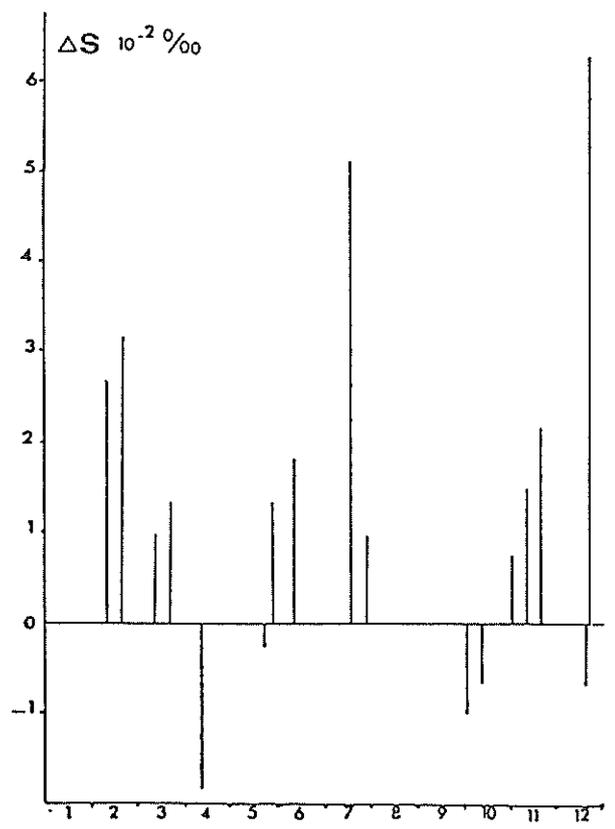


Fig. 2

Or au temps T_2 la salinité mesurée est S_2 ; différente de S cal du fait des mélanges par advection dans la colonne d'eau de salinité différente. Sur la figure 2 sont reportées, d'une quinzaine à l'autre les augmentations de salinités liées au déficit en eau douce. Dans l'année, le " ΔS " a été très rarement négatif ; par contre, il peut atteindre de fortes valeurs, jusqu'à $0.06^\circ/\text{‰}$. Si l'on fait la somme sur l'année des " ΔS ", on trouve un accroissement de salinité global de $0.353^\circ/\text{‰}$. Or, nous avons vu que les profils de salinité révèlent une augmentation de $0.404^\circ/\text{‰}$. Nous pouvons donc en conclure que les fortes salinités rencontrées dans la région pourraient être dues au seul déficit local en eau douce $\Sigma(E-P)$ en négligeant l'influence de l'advection haline. Or nous savons que les courants sont assez importants dans la région. Le calcul du bilan fait jouer, à cette advection, un rôle très minime ($0,05^\circ/\text{‰}$), tout au moins en bilan global sur l'année : on doit donc en déduire que l'eau venant du large a subi en 1981, une augmentation de salinité équivalente à celle observée dans la région et que le processus a été équivalent sur toute une partie du bassin méditerranéen (ce qui nous semble confirmé par les données pluviométriques et les résultats de mesures que nous avons effectuées dans le canal de Corse et la mer Ligure, avec des salinités de surface de respectivement $38,387^\circ/\text{‰}$ et $38,308^\circ/\text{‰}$ en Novembre 1981 et Mars 1982.

II. CONCLUSION

Les anomalies hydrologiques, fortes salinités et approfondissement de la thermocline, observées durant l'année 1981 peuvent être dues uniquement au déficit des précipitations dans la région et dans les régions environnantes du bassin nord-méditerranéen. Cette situation anormale ayant entraîné des densités plus importantes qu'habituellement pour les eaux superficielles; ceci devrait avoir provoqué au large la formation d'eau profonde, malgré la clémence des hivers. Si ce phénomène a eu réellement lieu, il confirme le caractère exceptionnel de cette année.

III. BIBLIOGRAPHIE

- BETHOUX (N.), 1975. - Evaluation du contenu thermique de la Méditerranée et de ses variations saisonnières. Thèse 3e cycle, Université Paris VI.
- BETHOUX (N.), ETIENNE (M.), IBANEZ (F.), RAPAIRE (J-L.), 1980.
- Spécificités hydrologiques des zones littorales. Analyse chronologique par la méthode CENSUS II et estimation des échanges océan-atmosphère appliquées à la baie de Villefranche sur Mer. Ann. de l'Inst. Océanogr. 56, 2, pp. 81-95
- LACOMBE (H.), TCHERNIA (P.), 1972. - Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. Extrait de "The Mediterranean Sea" by Dowden, Hutchinson et Ross, Inc. Stroudsbury, Pa.

RICHARD (J.), OXNER (M.), SIRVENT (L.), 1923 - Observations méthodiques de température et de salinité à diverses profondeurs au large de Monaco, de décembre 1907 à mars 1914. Bull. de l'Inst. Océanogr. n° 436.

VERNET (J.), 1952 - Quarante ans d'observations météorologiques à Monaco. Bull. de l'Inst. Océanogr., n° 1003, pp. 1-27

REMERCIEMENTS

Nos remerciements vont à toute l'équipe du Laboratoire de Microbiologie et d'Etudes des Pollutions Marines qui a effectué les sorties en mer et les mesures de température et salinité, ainsi qu'à l'équipage du RAMOGE.

MERCURY AND CADMIUM CONCENTRATIONS
IN THREE MARINE BENTHIC ORGANISMS.
VARIATIONS ACCORDING TO THE SAMPLING AREAS
IN THE CANAL DE CORSE.

by

Dominique BEZARD, André VEGLIA and Raymond VAISSIERE
Centre Scientifique de Monaco
16, boulevard de Suisse
98000 Monte-Carlo (Principauté de Monaco)

Abstract

Calocaris macandreae (Crustacea Decapoda), Molpadia musculus (Holothuria) and Gryphus vitreus (Brachiopoda) have been collected four times per year from 1981 to 1983, at three stations in the Canal de Corse: T1 in the canal, T2 south of the canal, and L north of the canal. The mercury and cadmium contents were measured (A.A.S.), the accuracy of the methods being checked with reference material (I.A.E.A. M.A.-A-1).

For C. macandreae the mercury concentration in the abdomen is roughly twice that in the cephalothorax, while the latter contains significantly more cadmium than the abdomen.

The teguments of M. musculus contain a higher amount of mercury and cadmium than the guts: in the case of mercury, the teguments/guts ratio seems to vary with the origin of the Holothuria: it is 3.4 at station L, 6 at T2, and 17.8 at T1.

G. vitreus appears only at station T1. Mercury and cadmium concentrations are about ten times lower in the shell than in tissues.

The origin of these variations is discussed.

*
* *

Introduction

In the framework of a general research programme on heavy metal dynamics in Mediterranean ecosystems, mercury and cadmium concentrations have been measured in some organisms living in an area between northern Corsica and Capraia Island.

This paper deals with the distribution of these two metals in three benthic animals which are known to have different feeding behaviour: Calocaris macandreae (Crustacea Decapoda), Molpadia musculus (Echinodermata Holothuria), and Gryphus vitreus (Brachiopoda Articulata).

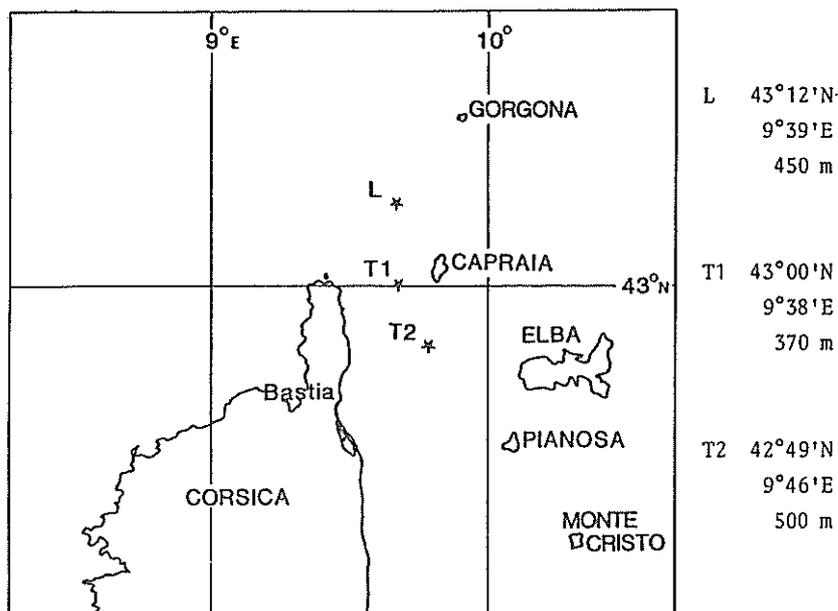


Figure 1. - Location of the sampling sites.

Materials and method

The stations were chosen according to hydrographic conditions, under-water features, and geographical location (figure 1). The Tyrrhenian and Ligurian basins communicate through the Canal de Corse, which is narrow, with the sea-bed rising fairly rapidly towards Capraia (East) and Cap Corse (West).

One knows that the Levantine Mediterranean water, which is found between 200 and about 400 metres depth, runs south to north along the Tuscan archipelago apron in the Tyrrhenian Sea, but it is not certain that it always crosses the Canal de Corse to enter the Ligurian Basin. In the middle of the channel, the maximum depth is 370 m and, in addition the current sometimes rotates gently in a cyclonic way (KRIVOSHEYA and OVCHINNIKOV, 1973, in VAISSIERE and SEGUIN, 1980). Hence, even if some eastern sea-water contributes to the hydrographic system of the Ligurian Sea in the studied area, there is a certain isolation of the two basins, for at least the deepest layer.

C. macandreae digs short horizontal galleries as it burrows through the first three to five centimetres of the sediment (CARPINE, 1970), which is slightly sandy and seems to contain a fair amount of interstitial water: the animal feeds on small particles and probably also on small preys. *M. musculus*, like almost all holothurians, lives on the sediment/water interface but it can burrow in the sediment: it is a detritus feeder, scooping up the substratum, pushing it into its mouth and ingesting the surface sediment to digest the organic contents. *G. vitreus* is a true suspension feeder: living on the sediment, it opens its shell and displays its lophophore to capture particles in the water, or it feeds by means of pinocytosis mechanisms.

Individuals of the three species were collected by using a beam-trawl at different periods of the year from November 1981 to October 1983. They were rapidly stored and deep-frozen in small polyethylene flasks previously conditioned with HNO₃ and washed with high-purity demineralized water. For mineralization, the samples were wet-ashed by adding small amounts of 65 % HNO₃ and 35 % H₂O₂. The solutions were analysed by atomic absorption spectroscopy. A graphite furnace was used for the determination of cadmium, while the cold vapour technique was applied to the determination of mercury. The accuracy of the method was estimated by analysing a biological reference material (International Atomic Energy Agency, M.A.-A-1 dried copepods).

| Sampling station | Sampling date | Sample | Mercury concentration (µg/g FW)* | Cadmium concentration (µg/g FW)* |
|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| T1 | 03/82 (5 indiv. pooled) | Soft parts Shell | 0.13 ± 0.03** 0.03 ± 0.001 | 0.08 ± 0.01** 0.025 ± 0.005 |
| | 04/82 (1 indiv. pooled) | Whole | 0.03 ± 0.001 | 0.02 ± 0.004 |
| | 12/82 (17 indiv. pooled) | Soft parts Shell | 0.10 ± 0.03 0.01 ± 0.001 | 0.08 ± 0.01 0.03 ± 0.005 |

TABLE 1 - Mercury and cadmium concentrations for *G. vitreus*. (Samples have been pooled to get 1 to 2 g of fresh material)

| Sampling station | Sampling date | Sample | Mercury concentration (µg/g DW)* | Cadmium concentration (µg/g DW)* |
|------------------|-----------------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| L | 04/82 (1 indiv. pooled) | Tegument Viscera | 0.78 ± 0.04** 0.23 ± 0.01 | 1.31 ± 0.23** 0.48 ± 0.08 |
| T1 | 03/82 (1 indiv. pooled) | Tegument Viscera | 4.77 ± 0.32 0.27 ± 0.01 | 0.63 ± 0.08 0.34 ± 0.05 |
| T2 | 11/81 (13 indiv. pooled) | Tegument Viscera | 1.32 ± 0.07 0.42 ± 0.02 | 0.39 ± 0.05 0.24 ± 0.04 |
| | 03/82 (1 indiv. pooled) | Tegument Viscera | 6.61 ± 0.36 0.73 ± 0.04 | 2.84 ± 0.68 0.45 ± 0.06 |
| | 04/82 (9 indiv. pooled) | Tegument Viscera | 3.73 ± 0.20 0.67 ± 0.04 | 0.38 ± 0.04 0.23 ± 0.03 |

TABLE 2 - Mercury and cadmium concentrations for *M. musculus*. (Samples have been pooled to get about 1 g of dry matter)

| Dates | Sampling areas | Tegument/viscera ratio | |
|-------|----------------|------------------------|---------|
| | | Mercury | Cadmium |
| 04/82 | L | 3.4 | 2.7 |
| 03/82 | T1 | 17.7 | 1.9 |
| 11/81 | T2 | 3.1 | 1.6 |
| 03/82 | | 9.0 | 6.3 |
| 04/82 | | 5.6 | 1.6 |

TABLE 3 - Tegument/viscera ratio for *M. musculus* at different stations.

| Sampling station | Sampling date | Sample | Mercury concentration (µg/g FW)* | Cadmium concentration (µg/g FW)* |
|------------------|-------------------|---------------|----------------------------------|----------------------------------|
| L | 11/81 (3 ind.) | Whole | 0.29 ± 0.06** | 0.16 ± 0.04** |
| | 03/82 (4 ind.) | Whole | 0.37 ± 0.08 | 0.15 ± 0.04 |
| | | Abdomen | 0.49 ± 0.09 | 0.12 ± 0.03 |
| | | Cephalothorax | 0.31 ± 0.06 | 0.17 ± 0.04 |
| | 04/82 (3 ind.) | Whole | 0.36 ± 0.06 | 0.12 ± 0.03 |
| | | Abdomen | 0.25 ± 0.07 | 0.11 ± 0.01 |
| | | Cephalothorax | 0.14 ± 0.04 | 0.18 ± 0.03 |
| | 09/82 (4 ind.) | Whole | 0.29 ± 0.06 | 2.38 ± 0.27 |
| | | Abdomen | 0.21 ± 0.06 | 0.54 ± 0.12 |
| | | Cephalothorax | 0.12 ± 0.03 | 0.83 ± 0.08 |
| | 12/82 (3 ind.) | Whole | 0.32 ± 0.09 | 0.28 ± 0.05 |
| | | Abdomen | 0.42 ± 0.11 | 0.17 ± 0.04 |
| Cephalothorax | | 0.17 ± 0.05 | 0.29 ± 0.05 | |
| T2 | 11/81 (2 ind.) | Whole | 0.21 ± 0.06 | 0.20 ± 0.04 |
| | | Abdomen | 0.35 ± 0.09 | 0.24 ± 0.04 |
| | | Cephalothorax | 0.21 ± 0.06 | 0.50 ± 0.06 |
| | 03/82 (6 ind.) | Whole | 0.17 ± 0.04 | 0.24 ± 0.06 |
| | | Whole | 0.18 ± 0.04 | 0.20 ± 0.04 |
| | 09/82 (4 ind.) | Whole | 0.27 ± 0.06 | 0.25 ± 0.03 |
| | | Abdomen | 0.31 ± 0.07 | 0.12 ± 0.03 |
| | | Cephalothorax | 0.13 ± 0.03 | 0.27 ± 0.03 |
| | 12/82 (3 ind.) | Whole | 0.33 ± 0.07 | 0.36 ± 0.03 |
| | | Abdomen | | 0.26 ± 0.03 |
| | | Cephalothorax | | 0.32 ± 0.06 |

TABLE 4 - Mercury and cadmium concentrations for *C. macandreae*. (Animal length > 30 mm). (Samples have been pooled to get 1 to 2 g of fresh material)

* FW = fresh weight - DW = dry weight.
 ** The given uncertainties correspond to a confidence level equal to 0.95.

Results

Gryphus vitreus. Table 1 shows that whatever the season, mercury and cadmium accumulations are always higher in the soft parts ($0.13 \mu\text{g Hg/g}$ and $0.08 \mu\text{g Cd/g FW}$) than in the shells ($0.01 \mu\text{g Hg/g}$ and $0.03 \mu\text{g Cd/g FW}$).

Molpadia musculus. Table 2 shows that no apparent relation exists between metal concentrations in the tegument and the viscera, though they are always higher in the former. For mercury the tegument/viscera ratio is greatly increased at station T1, and to a lesser extent at station T2, whereas for cadmium this ratio was roughly constant at all stations, except at T2 in March 1982 (table 3).

Calocaris macandreae. Table 4 shows that mercury concentration in the abdomen is always higher (roughly double) than in the cephalothorax, with a relation expressed by the following linear regression equation :

$$y = - 0.017 + 0.581 x \quad (r = 0.85)$$

where y is the mercury concentration ($\mu\text{g/g FW}$) in the cephalothorax and x is the concentration ($\mu\text{g/g FW}$) in the abdomen (figure II). The cadmium concentration gives the opposite relation between the abdomen and the cephalothorax, which is expressed by the following linear regression equation :

$$y = 0.017 + 1.435 x \quad (r = 0.97)$$

where y is the cadmium concentration ($\mu\text{g/g FW}$) in the cephalothorax and x is the concentration ($\mu\text{g/g FW}$) in the abdomen.

The results are given for individuals with a length equal to or over 30 mm. Differences can be noticed inside or between the stations. For the whole body, mercury concentrations are about twice as high at station L as at station T2 in spring and they are about the same in September and in December. Inversely cadmium concentrations (whole body) are higher at station T2 than at station L in all seasons, except for a very high value in September 1982.

Discussion

Gryphus vitreus. Since these animals are well known to be suspension feeders one may expect the uptake of metal by these organisms to take place mainly by filtration and subsequent ingestion of small suspended particles (HYMAN, 1959). However, another important way of uptake may be pinocytosis. FOWLER et al. (1974, 1978) found for the Mediterranean mussel Mytilus galloprovincialis a concentration distribution of cadmium and mercury similar to our results with G. vitreus. According to these authors, the uptake of cadmium by adsorption appears to be a relatively slow process : in that case, the major part of the cadmium body burden would be achieved through the food-chain, but in the case of G. vitreus there are some other ways (e.g. pinocytosis) that should be taken into consideration as metal accumulation mechanisms in tissues. Animals living in the vicinity of the sediment could be exposed to substances released by the sediment. FOWLER et al. (1978) also showed that methylmercury is accumulated in mussels from both food and water to a greater extent than inorganic mercury. Our analysis did not give us any information as to the chemical form of this metal.

Molpadia musculus. The holothurian viscera analysis shows concentration values of cadmium and mercury that may be considered in some way as representative of the uppermost layer of the sediment, since these animals are simply feeding by ingesting the sediment around them. Station T2 samples seem to exhibit higher mercury concentrations than stations L and T1 samples : 0.42 to $0.73 \mu\text{g/g}$ for T2 against $0.23 \mu\text{g/g}$ for L and $0.27 \mu\text{g/g}$ for T1 (DW). The tegument of the Holothuria was subject to important variations in metal concentration, particularly for mercury in April 1982 at stations L and

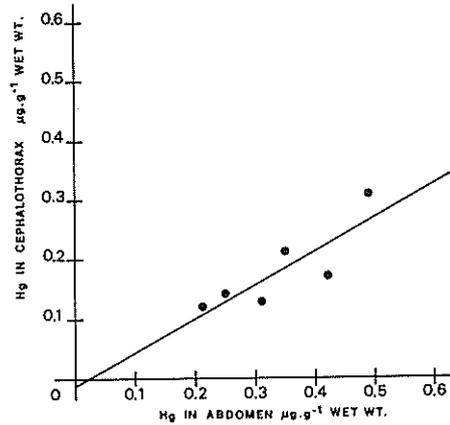


Figure 2. - Cephalothorax/abdomen linear regression equation for Mercury in Calocaris macandreae.

T2. The cadmium values were also high in March 1982 for T2 and in April 1982 for L. However, we have to keep in mind that the part analysed as tegument is not completely separated from the other organs (genital glands, muscles, etc.) which - as shown by THOMPSON et al., (1978) in EISLER (1981), who found values of 1.7 μg/g of cadmium (DW) in the muscles of Molpadia intermedia - may contribute to the high values observed. EISLER (1981) determined mercury levels of the order of 0.9 μg/g (DW) in echinoderms from non polluted areas. Many echinoderms, and especially holothurians, are prime movers of sediment and probably have an important place in the cycling of trace metals in the sea.

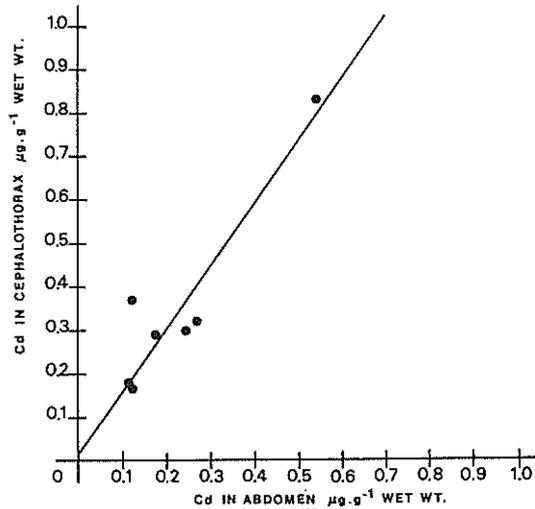


Figure 3. - Cephalothorax/abdomen linear regression equation for Cadmium in Calocaris macandreae.

Calocaris macandreae. Our results show that cadmium and mercury accumulations have different localizations in this decapod. NIMMO et al., (1977), FOWLER et al., (1978) and DAVIES et al. (1981) have shown that cadmium is selectively localized in decapod crustacean tissues in the following decreasing order: hepatopancreas, exoskeleton, muscle. In C. macandreae cadmium shows greater concentration in the cephalothorax, most certainly at the level of the hepatopancreas that has an

important role in metal dynamics due to the presence of metallothioneins (RAINBOW et al., 1979) However, we also have to take into account that metallic ions may be concentrated by adsorption on the exoskeleton and the gills (FOWLER et al., 1974 ; BENAYOUN et al., 1974 ; DAVIES et al., 1981). Mercury is particularly concentrated in the abdomen, which is mainly a muscular tissue. The difference in metal concentrations that have been found between the two populations at stations I and I2 may reflect real variations in environmental concentrations correlated with different hydrographic regimes and relative isolation of the basins : but they may also be due to differences in body size and sexual maturity, since C. macandreae is a proterandric hermaphrodite animal (the male gametes mature and are shed before female gametes mature). Cadmium could be present in higher concentrations in females, which are large size animals (> 30 mm), as was found in the case of the crab Cancer pagurus (DAVIES et al., 1981).

Conclusion

The values found for mercury and cadmium concentrations in brachiopods are lower than the values found for the two other species. The metal uptake for G. vitreus comes essentially from the water and the small suspended particles. The main part of mercury and cadmium accumulated by M. musculus and C. macandreae probably comes from the sediment. The sediment "sink" may ultimately act as a "source" of pollutants for the bottom dwelling animals because of the release of metals to the bottom water. Interstitial water probably plays an important role in the mechanism (RAY et al., 1980).

The biology of the species has a great influence on the uptake of metals by marine organisms. As one can see, at station I2 for March and April 1982, the uptake of mercury by C. macandreae decreased while the uptake by M. musculus increased. It is interesting to speculate on the actual mechanism of uptake, whether it occurs by cuticle adsorption or absorption by internal organs (BRYAN, 1971, in RAY et al., 1980). This point, as well as the physiological state of the organism (age, sex, maturation, etc.), are very important to know in order to understand to what degree these organisms can reflect the level of the environmental pollution in an area where oceanic basins have different hydrographic conditions.

References

- BENAYOUN G., S.W. FOWLER and B. OREGIONI (1974). - Flux of cadmium through Euphausiids. Mar. Biol. 27, 205-212.
- CARPINE C. (1970). - Ecologie de l'étage bathyal dans la Méditerranée occidentale. Mem. Inst. Oceanog. 2, 146 p.
- DAVIES I.M., G. TOPPING et al., (1981). - Field and experimental studies on cadmium in the edible crab Cancer pagurus. Mar. Biol. 64, 291-297.
- EISLER Ronald (1981). - Trace Metal Concentrations in Marine Organisms. - New York : Pergamon Press. 685 p.
- FOWLER S.W. and G. BENAYOUN (1974). - Experimental studies on cadmium flux through marine biota. In: Comparative studies of Food and Environmental Contamination, 159-178. Vienna : International Atomic Energy Agency.
- FOWLER S.W., M. HEYRAUD and J. LA ROSA (1978). - Factors affecting methyl and inorganic mercury dynamics in mussels and shrimps. Mar. Biol. 46, 267-276.

- GREEN F.A., J.W. ANDERSON et al., (1976). - Effects of mercury on the survival, respiration and growth of postlarval white shrimps, Penaeus setiferus. Mar. Biol. 37, 75-81.
- HYMAN L.H. (1959). - The Intervertebrates : Smaller Coelomate Groups. vol 5 New York, London : Mc Graw-hill Book Co., Inc 783 p.
- International Atomic Energy Agency (1978). - Intercalibration of analytical methods on marine environmental samples. Monaco : International Atomic Energy Agency 23 p. (Progress report : 19).
- NIMMO Del Wayne, Donald V. LIGHTNER and Lowell H. BAHNER (1977). - Effects of cadmium on the shrimps Penaeus duorarum, Palaemonetes pugio and Palaemonetes vulgaris. In : Physiological Response of Marine Biota to Pollutants New York : Academic Press. pp 131-183.
- RAINBOW P.S. and A.G. SCOTT (1979). - Two heavy metal-binding proteins in the midgut gland of the crab Carcinus maenas. Mar. Biol 55, 143-150.
- RAY S., D. Mc LEESE and D. PEZZACK (1980). - Accumulation of cadmium by Nereis virens. Arch. Environm. Contam. Toxicol. 9, 1-8.
- THURBERG F.P., A. CALABRESE, et al. (1977). - Response to the lobster Homarus americanus to sublethal levels of cadmium and mercury. In : Physiological Response of Marine Biota to Pollutants. New York : Academic press. pp. 185-197.
- VAISSIERE R. and G. SEGUIN (1980). - Etude préliminaire de peuplements de Copépodes (juillet 1977) en relation avec l'hydrologie des mers Tyrrhénienne et Ionienne. Oceanologica Acta 3(1), 17-29
- WHITE S.L. and RAINBOW P.S. (1982). - Regulation and accumulation of copper, zinc and cadmium by the shrimp Palaemon elegans. Mar. ecol. Prog. Ser. 8, 98-101.

SEASONAL VARIATIONS OF ZINC
COPPER AND NUTRIENTS IN COASTAL SEA-WATER
OF THE LIGURIAN SEA

by

André VEGLIA and Raymond VAISSIERE
Centre Scientifique de Monaco
16, boulevard de Suisse
MC 98000 Monaco (Pincipauté)

Abstract

Samples of sea-water collected at 5 metres depth twice a month from March 1982 to June 1983, at four coastal stations in the vicinity of Monaco have been analysed for their zinc and copper contents (AAS) as well as their nitrate, phosphate and silicate concentrations (Technicon). Mean values for each parameter and for each day of sampling were plotted after a 3-step smoothing procedure. A covariation of zinc and nitrate concentrations appears with maximum in summer and minimum in winter. The correlation is significant and the two parameters are bound by the relation $Zn (\mu g.l^{-1}) = 2.268 NO_3 - (atg.l^{-1}) + 1.446$. For the same period the sea-water density has been plotted. The curve shows that a decrease in metal and nitrate concentrations happens in the homogenization period of the water column. The possible grounds for the observed increase in metals and nutrients in summer are discussed. The surface layer seems to act like a reservoir for these substances. The thermal stratification of the water column in summer, combined with a seasonal increase of anthropogenic pollution, appears to be the main cause of the enhanced concentration of nutrients and metals in the surface layer observed during this period.

*
* *

Introduction

Recent works have brought to light that metals, e.g., cadmium, zinc and nickel, are involved in the internal biogeochemical cycle of organic matter in the oceans (BRULAND, 1980) while copper, showing a more complex distribution, seems to be governed by surface water removal, deep water scavenging and bottom water enrichment from the sediment (BOYLE *et al.*, 1977 ; BRULAND, 1980).

With regard to surface coastal waters, large differences are noticed amongst results given by various investigators with levels usually higher than those observed in the open sea (FRACHE *et al.*, 1976 ; BAFFI *et al.*, BRULAND and FRANKS, 1983). In the vicinity of the coast the biogeochemical cycle is, of course, disturbed by terrigenous and/or anthropogenic inputs, by diagenetic remobilization from shelf sediments and probably complicated by the seasonal changes of other factors like salinity and temperature.

This paper deals with the variation of Cu and Zn concentrations at 5 metres depth in relation to the upper layer hydrographic conditions in coastal waters near the Principality of Monaco (Ligurian - Mediterranean sea) during a 16 months' survey.

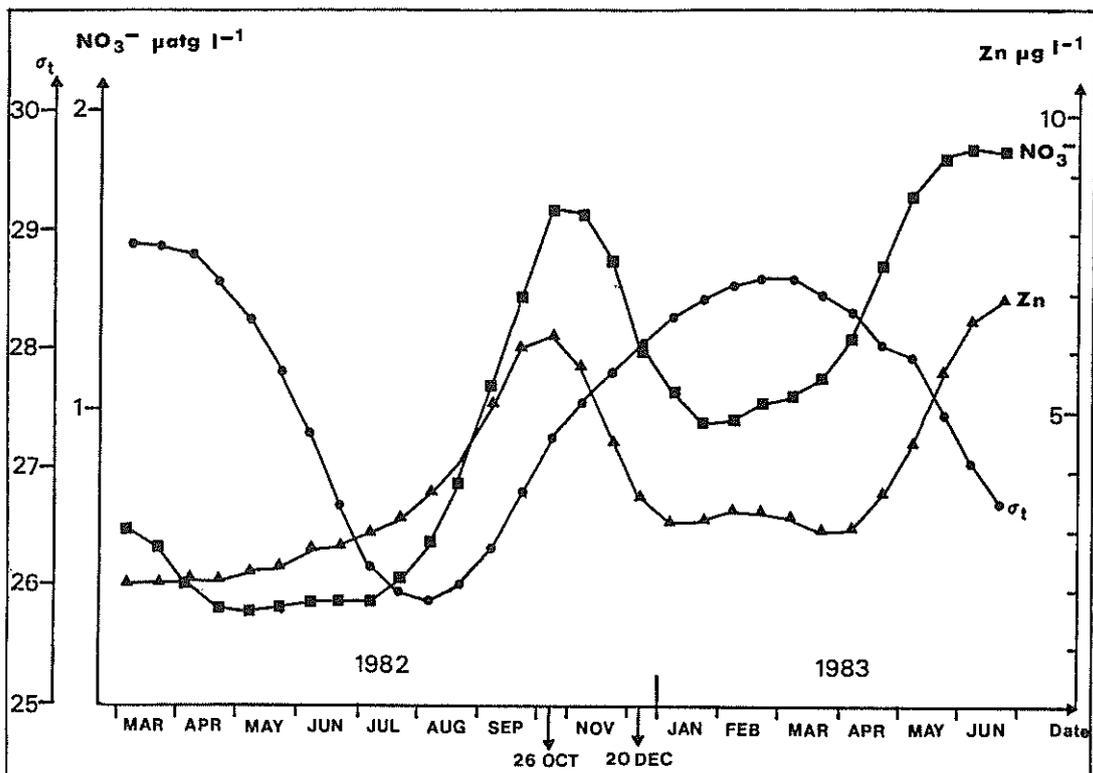


Fig.1 - Seasonal variations of sea-water density (σ_t) and zinc and nitrate concentrations.

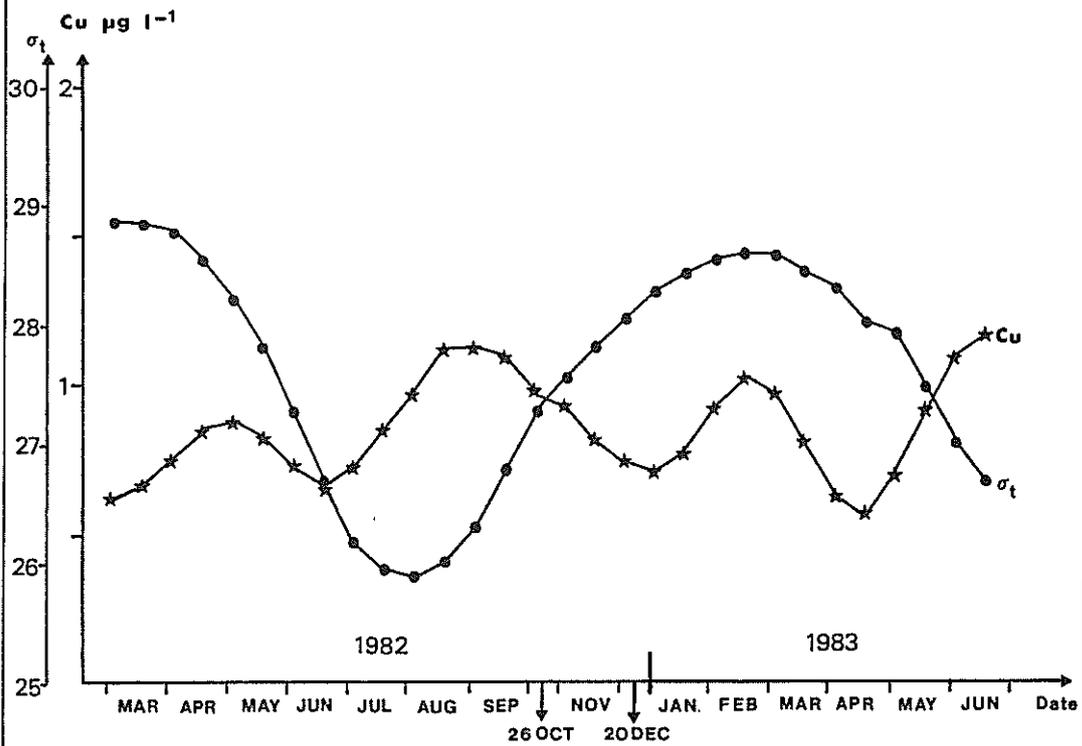


Fig.2 - Seasonal variations of sea-water density (σ_t) and copper concentration.

Materials and methods

Samples of sea-water were collected every fortnight from March 1982 to June 1983 at four stations near Monaco, using the facilities of the R.V. Ramoge. The stations were all located within six miles of the coast.

Sampling operations were carefully conducted to avoid contaminations from the boat and the sea-atmosphere interface. Samples for metal analysis were collected at 5 m under the surface by means of a N.I.O. 1.2.1. plastic bottle fixed to a stainless steel hydroline. The bottle contents were transferred to polyethylene flasks previously acid-washed and sea-water conditioned and immediately frozen at -20 °C on receipt in the laboratory (within two hours after sampling).

Sampling done at the beginning of the survey by using a nylon hydroline or by collecting samples from a small raft at 50 m from the ship directly in clean polyethylene flasks did not produce lower results for zinc and copper than those obtained by the system N.I.O. sampler - stainless steel hydroline. It was decided, therefore, to continue to use this system.

Unfiltered sea-water samples were analysed by atomic absorption spectroscopy for their trace metal contents (KINRADE and VAN LOON, 1974 ; A.F.N.O.R., 1976). 400 ml of sea-water were extracted at pH 4 by 20 ml of MIBK after chelation of metals by APDC and DDDC. Organic extracts were aspirated into the air-acetylene flame of an atomic absorption spectrophotometer (Instrumentation Laboratory Model 251). Automatic background correction was made by means of a deuterium hollow cathode lamp. Metal concentrations in the samples were determined by calibration with standards prepared by adding known amounts of Zn and Cu to NaCl solution (38 g/l) and extracted in the same way. All reagents were purified before use by extraction with MIBK. All the glassware was conditioned by 10 % nitric acid and washed with high purity demineralized water before use. All chemical operations were done under a laminar flow hood to avoid contaminations. The limit of detection of the method as estimated from the variation of the absorbance of pure MIBK was about 0.5 µg/l for zinc and 0.3 µg/l for copper (2σ). The reproducibility of the method was checked by repeating twice the analysis of a large number of samples collected at the beginning of the survey. Correlation coefficients between both determinations were found to be about 0.95 for zinc and 0.90 for copper, which may be estimated as satisfactory at this concentration level (about 1 µg/l).

Sampling for nutrient analysis and salinity measurements was done by means of a 1.7 l Niskin bottle at two levels, surface and 10 m. A Technicon Autoanalyzer was used for nutrient content determination (TREGUER and LE CORRE, 1974). The analysis began within two hours after sampling.

The sea-water temperature was measured in situ by means of Richter and Wiese reversing thermometers. The salinometer used was an Autosal Guildline.

Data processing

First, the mean value of every parameter was calculated for the day of sampling from the four results corresponding to the four stations. These mean values were then plotted according to the date of sampling and the curves were smoothed in a classical way (i.e. each value was replaced by the average of itself and the two neighbouring points). The latter procedure was repeated twice. By doing so, overall variations of the parameters under survey could be described while small occasional concentration variations would in theory be eliminated, the smoothing procedure removing or at least minimizing the influence of eventual results which were too high due to contamination.

It should be recalled that sampling for metal content was made at 5 m depth while sampling for nutrients and salinity as well as temperature measurements were made at the sea-surface and at 10 m depth. Hence the mean value for each of these three types of parameters was calculated using the results from the two levels.

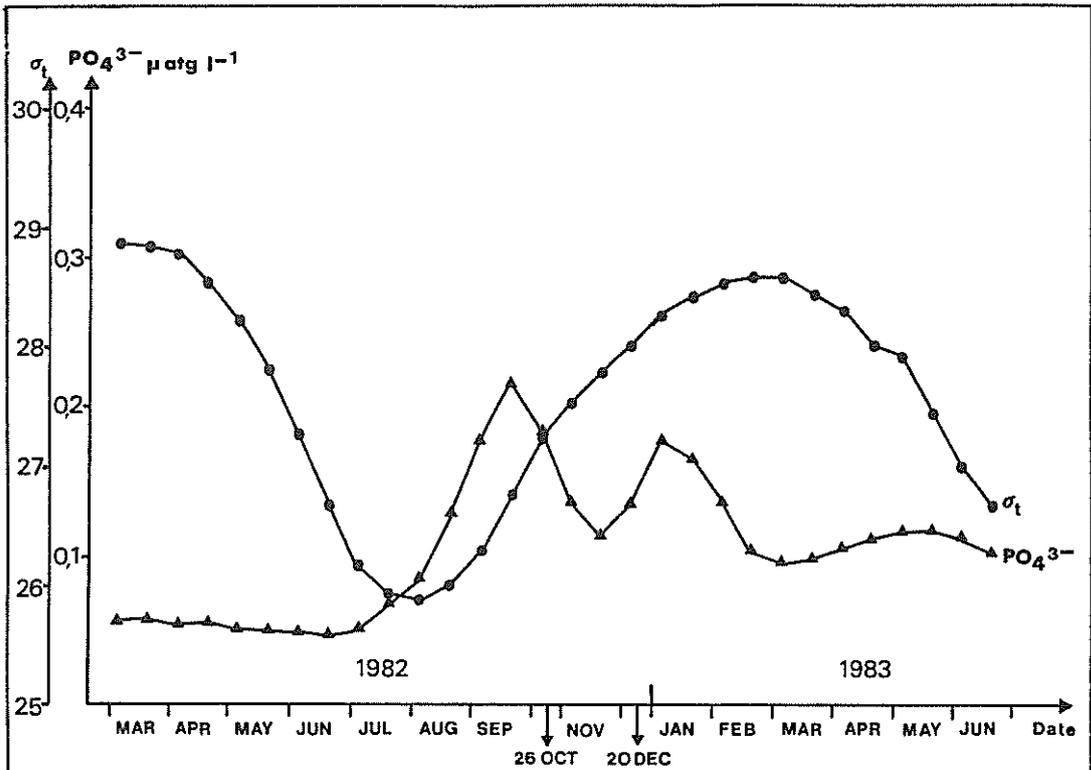


Fig.3 - Seasonal variations of sea-water density (σ_t) and phosphate concentration.

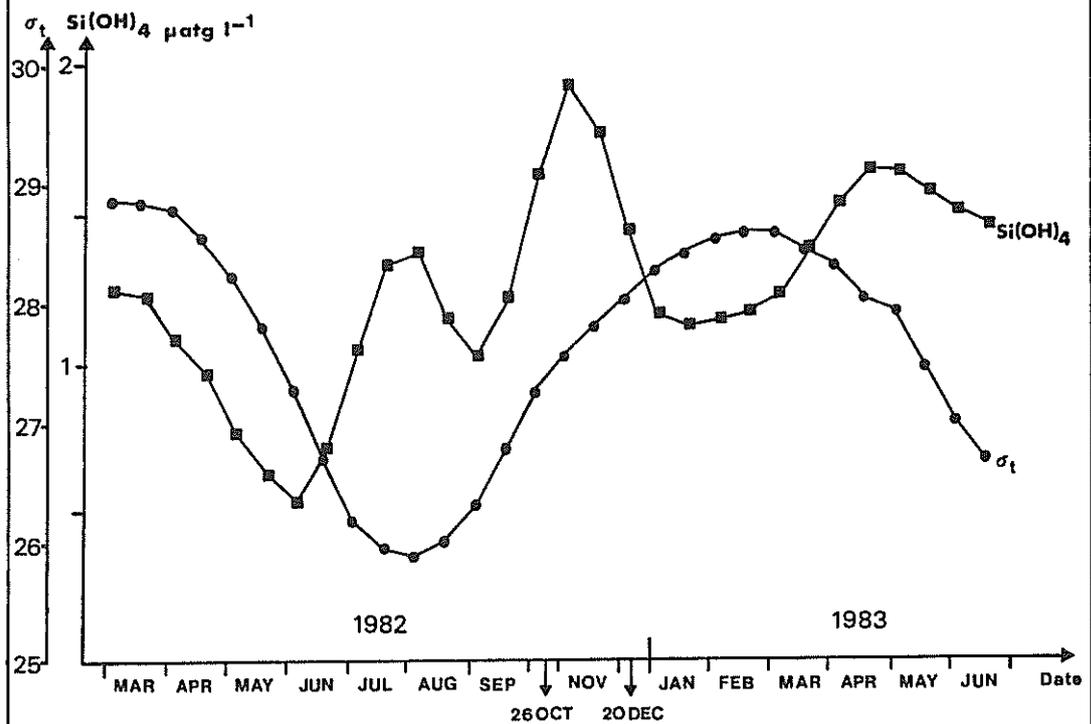


Fig.4 - Seasonal variations of sea-water density (σ_t) and silicate concentration.

Results

Metals : The most frequent concentration values were found between 1 and 2 $\mu\text{g.l}^{-1}$ for zinc and 0.4 and 0.8 $\mu\text{g.l}^{-1}$ for copper. These results are of the same order of magnitude as those found by other authors in the same geographical area (BAFFI *et al.*, 1983 ; FRACHE *et al.*, 1976, 1980 ; R.N.O., 1982). Higher values were, however, quite often noticed.

The variation of Zn concentration is plotted on figure I. Two peaks can be seen, one in October 1982 and the other one at the end of June 1983. A depletion is observed during cold periods with an earlier and faster increase of the metal concentration in spring 1983.

Copper concentration variations (figure II) appear with four peaks. Two of them, the highest ones, take place roughly at the same time as zinc but the two others, of lower magnitude, can be seen in mid-spring 1982 and late winter 1983.

Nutrients : The highest nitrate concentrations are observed in late summer 1982 and late spring/early summer 1983 (figure I).

With regard to phosphate and silicate concentrations, the variations are more or less similar to nitrates but not so regular with peaks appearing in September 1982 and January 1983 for phosphates (figure III) and in August and November 1982 for silicates (figure IV).

Sea-water density : The seasonal variations of σ_t are normal. An increase for cold periods and a decrease for warm periods are observed with a slight shift to earlier times in the year for 1983 (figures I-IV).

Discussion

The variations of the concentrations of metals, especially Zn, are obviously related, if not entirely, at least partly, to the seasonal variations of the sea-water density. It appears that during the warmer months the surface water layer which has poor exchange with the deeper waters would concentrate Zn and Cu - and most certainly other substances - from various sources. On the contrary, with the mixing process starting in autumn the metal content of the surface layer would then be diluted in the water column and the concentration in the upper layer would decrease.

The behaviour of Cu is similar to that of Zn but with two additional peaks in May and February for which it is difficult to give an explanation. They could be the result of contamination or have some other origin.

If one compares the plots in figure I it is obvious that there is a zinc-nitrate co-variation, and a linear regression equation (30 points) can be written as follows:

$$\text{Zn } (\mu\text{g.l}^{-1}) = 2.268 \text{ N-NO}_3 (\mu\text{atg.l}^{-1}) + 1.446$$

with a correlation coefficient $r = 0.843$ ($p < 0.001$).

To a certain extent the Zn-phosphate and Zn-silicate co-variations are similar with one depletion of silicate in September and one peak of phosphate in January.

In open-sea conditions, correlations Zn-silicate, Cu-silicate (BRULAND, 1980 ; DANIELSSON, 1980) and Cu-nitrate (BOYLE and EDMOND, 1975) have been observed and elements like Zn are said to have a nutrient type distribution in the oceans (BRULAND and FRANKS, 1983).

At first sight one could conclude that the same type of distribution exists in a coastal area. In open-sea conditions, however, the nutrient concentration decreases in summer in the upper layer above the seasonal thermocline after exhaustive use by phytoplankton. In early autumn from the beginning of the vertical mixing process and until the end of winter, the water column is enriched with nutrients, especially nitrate, of deeper water origin.

The results reported here for a Mediterranean coastal area do not fit the theory at least for the 10 m deep surface layer. One can see that nitrate (and metal) concentrations increase from spring to late summer and decrease with the seasonal thermocline erosion. In other words the upper layer looks like a source of nutrients to deeper layers.

In the particular case of this coastal water system, one could suggest, therefore, that the relative isolation of the surface layer from deeper water masses causes an accumulation of metals and nutrients in this layer. It is difficult, of course, to identify with certainty the sources of these substances. One must notice, however, that from early spring to late summer, the population of the "Côte d'Azur" is increased by a factor of two or three. This may result in a significant increase in sewage and waste waters rejected into the coastal waters. The organic matter transferred to the sea in this way may rise in summer and be rapidly oxidized to nitrate. The augmentation of phosphate may be due to an increased consumption of washing powders containing mineral phosphates. Studies carried out some years ago in the same area showed, for instance, a direct relationship between detergents and phosphates in summer (BOISSON et al., 1980). No satisfactory explanation, however, can be found for the concentration increase of silicate in summer (except perhaps dry deposition of aeolian dust).

We conclude, therefore, that the enhanced concentration of nutrients and metals in surface coastal waters observed in summer is mainly due to the thermal stratification of the water column combined with a seasonal increase of anthropogenic pollution during this period.

Acknowledgment

The authors wish to thank the crew of the R.V. Ramage for assistance during the sampling operations and the scientific team of the C.S.M. for nutrient and metal determinations, salinity measurements and data processing.

References

- A.F.N.O.R. (Association Française de Normalisation) (1976). - Essais des eaux Norme expérimentale, I. 90-112.
- BAFFI F., A. DADONE, R. FRACHE (1983). - Heavy metals in inshore waters near Genoa. Mar. Pollut. Bull., 14, pp. 469-471.
- BOISSON M., J.-L. RAPAIRE, R. VAISSIERE (1980). - Les surfactants anioniques en baie de Monaco, corrélations avec divers paramètres du milieu marin. 5th Workshop on pollution of the Mediterranean, Cagliari, C.I.E.S.M., 175-182.
- BOYLE E., J.-M. EDMOND (1975). - Copper in surface waters south of New Zealand. Nature (Lond.) 253, 107-109.
- BOYLE E.A., F.R. SCLATER, J.M. EDMOND (1977). - The distribution of dissolved copper in the Pacific. Earth and Planetary Science Letters, 37, 38-54.
- BRULAND K.W. (1980). - Oceanographic distributions of cadmium, zinc, nickel and copper in the North Pacific. Earth and Planetary Science Letters, 47, 176-198.
- BRULAND K.W., R.P. FRANKS (1983). - Mn, Ni, Cu, Zn and Cd in the Western North Atlantic. Trace metals in Sea-Water, NATO Conference Series, Plenum Press, New York, 395-414.
- DANIELSSON L.G. (1980). - Cadmium, cobalt, copper, iron, lead, nickel and zinc in Indian Ocean water. Mar. Chem., 8, 199-215.
- FRACHE R., F. BAFFI, A. DADONE, G. ZANICCHI (1976). - The determination of heavy metals in the Ligurian Sea. I, The distribution of Cu, Co, Ni and Cd in surface waters. Mar. Chem., 4, 365-375.
- FRACHE R., F. BAFFI, A. DADONE, G. SCARPONI, I. DAGNINO (1980). - The determination of heavy metals in the Ligurian Sea. II, The geographical and vertical distribution of Cd, Cu and Ni. Deep-Sea Res., 27A, 1079-1082.
- KINRADE J.D., J.C. VAN LOON (1974). - Solvent extraction for use with flame atomic absorption spectrometry. Anal. Chem., 46, 1894-1898.
- R.N.O. (Réseau National d'Observation de la Qualité du Milieu Marin). - Centre National pour l'Exploitation des Océans. Bulletin n° 20 (2nd semester, 1982).
- TREGUER P., P. LE CORRE, (1974). - Manuel d'analyse des sels nutritifs dans l'eau de mer, adaptation au flux continu. Laboratoire d'Océanologie Chimique, Université de Bretagne Occidentale.

**INFLUENCE DE LA DILUTION DANS LA DETERMINATION
DE L'AZOTE AMMONIACAL EN MILIEU COMPLEXE
(EAU INTERSTITIELLE DES SEDIMENTS MARINS, EAU DE MER)**

Roland PUCCI, Centre Scientifique de Monaco.

Le dosage est basé sur la réaction de Berthelot. En milieu alcalin l'ammoniac dissous réagit sur l'hypochlorite pour former une monochloramine. Ce composé, en présence d'indophénol et d'un excès d'hypochlorite (milieu oxydant) donne lieu à la formation de bleu d'indophénol. La réaction est catalysée par l'ion nitroprussiate.

La méthode a été adaptée à l'analyse automatisée à flux continu.

Le graphique 1 et sa légende montrent une situation paradoxale : la dilution d'un échantillon ne se traduit pas par la diminution de la hauteur de pic d'enregistrement correspondant.

Le taux de formation de la monochloramine, intermédiaire-clé, est dépendant du pH (Patton) :

1. Il est maximum à pH 8,5.
2. Le taux de décomposition augmente dans le temps au fur et à mesure que le pH diminue.
3. Au dessus de pH 11,5 le monochloramine est formée en quantité faible et se transforme en partie en nitrates.

Toutefois le pH de départ de l'échantillon n'est pas suffisamment modifié par la dilution pour que, à notre avis, un de ces phénomènes intervienne.

Les hypothèses suivantes pourraient expliquer que la dilution lève une inhibition ou exalte une activité :

1. On sait que les réactions d'échanges sont le plus souvent rapides, mais il peut arriver que la vitesse soit faible ou même négligeable. Le système est alors en faux équilibre.

La dilution réaliserait un équilibre réel.

2. La prévision des réactions, en raison des interactions ioniques, n'est valable que si les interactions sont remplacées, dans la loi d'action de masse, par les activités. La dilution modifie la force ionique du milieu. Or, si les expériences de Patton plaident en faveur d'un mécanisme non ionique (taux maximum de formation de la monochloramine à pH 8,0) elles ont été conduites en milieu eau distillée. La comparaison des pics C et D et des pics C et E plaiderait plutôt en faveur d'un mécanisme ionique pour expliquer les modifications apparentes de concentration selon le degré de dilution (graphique 1).

3. Le catalyseur de la réaction de Berthelot est le nitroprussiate de sodium $\text{Na}_2(\text{Fe}(\text{CN})_5\text{NO}) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. En solution alcaline aqueuse Patton et Crouch ont décrit la formation, à partir de ce composé, d'aquopentacyanoferrate $\text{Fe}(\text{CN})_5\text{H}_2\text{O}$ qui pourrait être le véritable catalyseur et Patton évoque l'implication possible de ce dernier composé dans la réaction elle-même. Dans ce cas on pourrait alors supposer que la modification de l'activité ionique augmente le taux de formation d'aquopentacyanoferrate, donc de monochloramine.

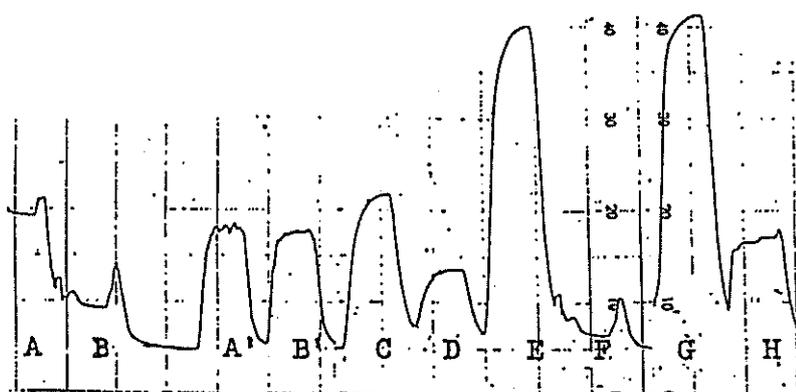
4. On pourrait penser que certains composés (urée, acides aminés) interférant à concentration élevée voient leur interférence "levée" par la dilution. Toutefois de l'eau de mer prélevée au large des côtes et en profondeur présente le même phénomène à la dilution.

5. Il faut ajouter qu'il semble exister, dans les expérimentations que nous avons conduites, une dilution optimale, au delà de laquelle les concentrations calculées d'après la hauteur des pics, décroissent à nouveau, pour un échantillon donné.

L'ensemble de ces résultats est à rapprocher de ceux précédemment décrits en chimie clinique . Ils montraient l'influence de la dilution dans un autre milieu complexe : le sérum sanguin. Cette étude mettait en évidence l'importance du liquide de dilution. Ainsi la dilution d'un sérum pathologique par de l'eau distillée, par du soluté physiologique ou par un sérum normal permettait d'obtenir trois valeurs différentes.

Conclusions : Précautions à prendre dans l'énoncé des résultats. Tout en poursuivant l'investigation du phénomène il paraît dès à présent raisonnable de codifier plus précisément le protocole de détermination de l'azote ammoniacal et la préparation des bordereaux de résultats qui devraient comporter des précisions sur les pourcentages de dilution et sur la nature du diluant.

Ces précautions sont nécessaires dans le cas des mesures sur les eaux interstitielles des sédiments qui dans bien des cas contiennent de l'ammoniac dissous en des teneurs élevées, supérieures à 100 ou 1000 μ M/l. On pourra ainsi comparer valablement des résultats issus de laboratoires différents.



GRAPHIQUE 1

Echantillon A non dilué
 Echantillon B non dilué
 A': échantillon A dilué (par de l'eau déminéralisée) dix fois
 B': échantillon B dilué (par de l'eau déminéralisée) dix fois
 C : étalon 100 μ At.g/l de N-NH₄ (préparé à partir de sulfate d'ammonium et d'eau déminéralisée)
 D : " " dilué (eau déminéralisée) deux fois
 E : " " dilué (eau de mer) deux fois
 F : eau de mer de dilution
 G : étalon dilué E redilué (eau de mer) deux fois
 H : " " (eau déminéralisée) deux fois

BIBLIOGRAPHIE

PATTON, G.J., 1977 - Analytical chemistry, 49, 464.
 PUCCI, R., 1971 - DES Sciences Physiques, Univ. de Nancy.

LES CONDITIONS DE COURANT EN MER DE MONACO
(période de Janvier 1981 à Juin 1983)

par

M. BOISSON, J-L. RAPAIRE, R. VAISSIERE *

CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO
16, Boulevard de Suisse
MC 98000 MONTE CARLO

et
* UNIVERSITE DE NICE

Une étude de courants a été entreprise en mer de Monaco (Baie de Roquebrune) dans le cadre d'un programme de recherches sur l'écosystème marin de cette région.

Des résultats préliminaires (BETHOUX et al., 1983) relatifs à la période de Janvier 1981 à Mai 1982 avaient montré : (i) la prédominance d'un courant SW ; (ii) de fortes accélérations apparemment liées à des coups de vent de NW dans le golfe du Lion.

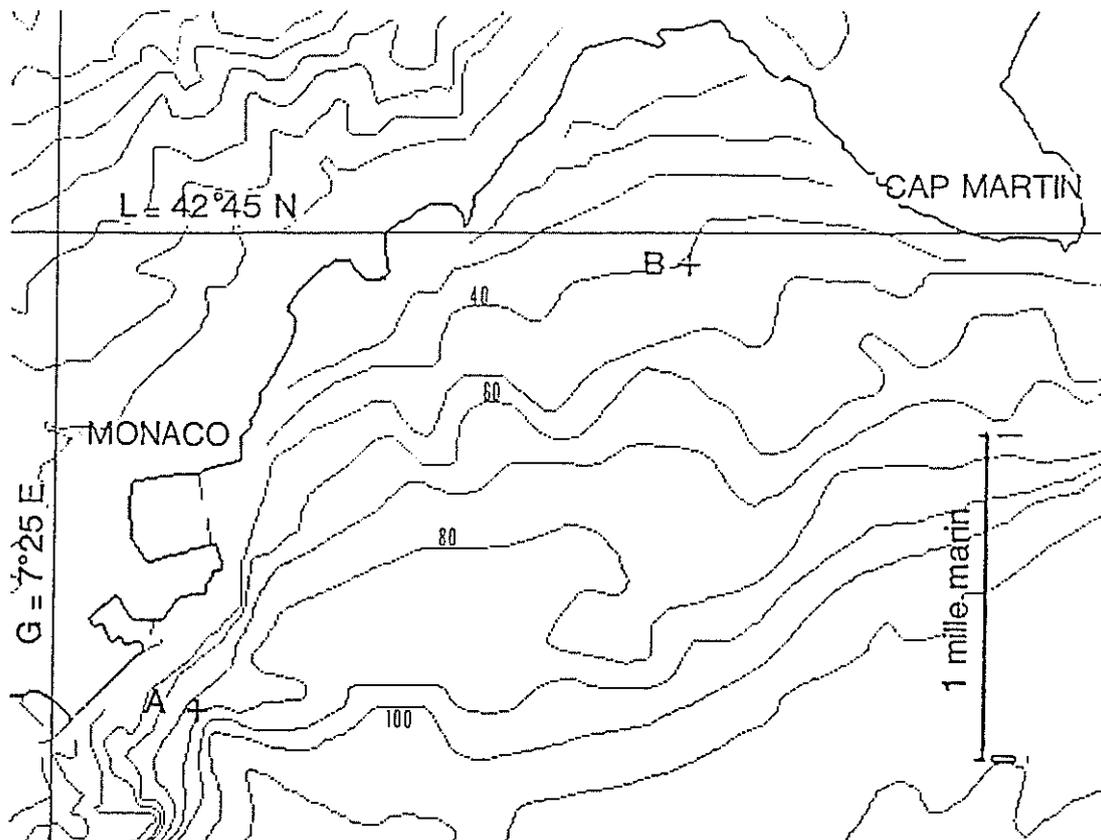
Les mesures de courants, toutes les 10 mn à 20 m de la surface et 5 m au-dessus du fond se sont poursuivies sur les points A (lat. = 43°43'18"N ; long. = 7°25'40"E) et B (lat. = 43°44'44"N ; long. = 7°28'E) qui se trouvent au-dessus de fonds respectivement de 80 et 50 m (Carte 1).

Dans cette communication sont présentés les résultats traités acquis pendant la période de Janvier 1981 à Juin 1983. Ils ont été subdivisés pour l'analyse en 11 séries chronologiques dont la durée n'est pas égale, en raison d'incidents au cours des enregistrements, et n'excède en aucun cas 60 j.

1. POINT A

- Dans la majeure partie des cas, les courants sont orientés en surface parallèlement à un axe SW.NE correspondant à l'orientation des isobathes 70 et 90 m de part et d'autre du point A. Les observations les plus fréquentes correspondent à la direction SW, donc dans le sens de la grande circulation cyclonique en mer Ligure. Ensuite, les cas les plus nombreux correspondent à la direction en sens opposé (NE).

- Les courants se maintiennent avec des oscillations dans l'une ou l'autre de ces directions pour des périodes relativement courtes. Si l'on prend pour limite extrême des oscillations 5° de part et d'autre de la direction moyenne, on remarque qu'en période d'homogénéité thermique le courant SW se maintient parfois jusqu'à 6 heures, alors que le courant NE ne



CARTE. 1.

Mer de Monaco, A - B, position de courantomètres.

dépasse jamais 2 heures continues de stabilité. En période de stratification ces temps sont beaucoup plus courts. En choisissant les limites d'oscillations de l'ordre de 30° de part et d'autre de la direction moyenne, on constate alors que les courants SW ou NE peuvent quelquefois être observés pendant 2 jours consécutifs, particulièrement en hiver.

- La comparaison des mesures en surface et en profondeur montre que la coïncidence des directions de courants pour une période relativement prolongée est rare, sauf si l'on considère comme identiques 2 orientations faisant entre elles un angle de l'ordre de 10°. Dans ce cas on observe alors des périodes de coïncidence de direction pouvant durer 6 heures.

Il faut cependant souligner que les régimes des eaux de surface et sub-superficielle diffèrent avec l'époque de l'année.

a)- en période de stratification les 2 couches paraissent évoluer indépendamment l'une de l'autre. Avec un courant de surface NE celui du fond est généralement opposé (SW). Lorsque la surface s'oriente vers le SW, le courant au fond peut parfois se situer nettement dans le secteur 340°-40°. Enfin, dans des cas rares, le courant de fond est franchement orienté dans le secteur 70 - 140° et aucune relation alors ne peut être mise en évidence avec la surface.

b)- en période d'homogénéité thermique on constate qu'à des courants de surface orientés₁ dans le secteur 270 - 360° avec des vitesses comprises entre 5 et 10 cm.s⁻¹ correspondent au fond des courants orientés S-SW ou E-SE. Quand la direction du courant en surface se situe entre 30 et 60°, on observe 2 situations : (i) si la vitesse en surface est > à 15 cm.s⁻¹ l'orientation au fond est comprise entre 0 et 30°. (ii) si la vitesse descend en dessous de 15 cm.s⁻¹ mais demeure supérieure à 10 cm.s⁻¹ l'orientation au fond se situe entre 90 et 110°. L'analyse des différentes situations montre que l'accroissement de la vitesse en surface entraîne progressivement une stabilisation du courant en profondeur dans le secteur 30 - 60°.

Pour des courants de surface orientés₁ dans le quadrant 180 - 270° et des vitesses comprises entre 5 et 16 cm.s⁻¹ les courants au fond suivent la même direction.

Exception faite de ces cas bien marqués, le courant de fond pendant la période d'homogénéisation des eaux a tendance à être décalé de 25° sur la gauche par rapport au courant de surface.

2. POINT B.

Les observations faites en A sont utilisées comme références pour la description du système malgré l'interférence certaine de la bathymétrie et du découpage de la côte.

En ce qui concerne le point B situé sur petits fonds au centre de la mer de Monaco, il se trouve plus directement soumis aux modifications d'orientations liées au découpage de la côte et aux turbulences dues à cette dernière.

Deux situations assez bien caractérisées ont été mises en évidence.

Pendant la période de Février à Avril, lorsqu'en surface un courant SW est bien établi en A, on constate, au centre de la mer de Monaco en B, un flot orienté NW. On peut admettre dans ces conditions que l'infléchissement du courant en B vers la droite est dû en grande partie à la présence d'un cap (le Cap Marti orienté NW-SE formant un obstacle autour duquel le courant pivote.

Toujours pendant la même période : hiver - début de printemps, on observe que les courants établis NE en A correspondent à des mouvements vers le SE en B. Là également, les changements de direction à 90° peuvent être attribués à l'obstacle que constitue le Cap Martin.

De Mai à Juin, et d'Octobre à Novembre, c'est-à-dire en fin de période de formation de la thermocline et au début d'érosion de cette dernière, un courant de surface en A, établi au SW (régime fréquent pendant cette période de vitesse inférieure à 5 cm.s⁻¹ entraîne en B la présence d'un contre-courant orienté E-SE. Ce mouvement tend à disparaître quand les vitesses augmentent en A. Aucune hypothèse n'est actuellement proposée pour expliquer ces différents mouvements.

3. VARIATIONS DES VITESSES DES COURANTS ET RELATIONS AVEC LES CONDITIONS METEOROLOGIQUES SUR LE BASSIN NORD OCCIDENTAL

Les analyses des variations des vitesses des courants ont confirmé les observations précédentes (BETHOUX et al., 1983) et ont apporté des indications complémentaires intéressantes

C'est ainsi qu'à 20 mètres de profondeur en A, la moyenne des vitesses instantanées calculée sur l'ensemble des mesures est de $8,5 \pm 0,07 \text{ cm.s}^{-1}$. La moyenne mensuelle est maximale en Février avec $11,3 \text{ cm.s}^{-1}$, puis diminue progressivement en Avril, Mai, Juin, pour atteindre $7,4 \text{ cm.s}^{-1}$ et s'accroît à partir de Juillet jusqu'à 9 cm.s^{-1} . A 78 mètres les écarts de vitesse marquant le cycle annuel sont plus nets, le maximum est atteint en Mars (10 cm.s^{-1}), pour diminuer jusqu'à $2,8 \text{ cm.s}^{-1}$ en Août. C'est en Octobre que l'accroissement de la vitesse se manifeste de nouveau.

Enfin, les conditions hydrologiques en mer de Monaco ne semblent pas, dans la majorité des cas, directement liées à la météorologie locale du Cap Ferret, alors qu'une relation apparaît assez fréquemment avec les conditions observées au Cap Béar à l'extrémité Ouest du golfe du Lion.

En effet, si l'on sélectionne, sur l'ensemble des mesures de courant disponibles, celles où les vitesses sont supérieures à 20 cm.s^{-1} , 43 périodes sont retenues. Au Cap Béar la médiane des vitesses des vents correspondant à ces périodes est centrée sur 20 m.s^{-1} et à deux exceptions près, la direction est toujours N-NW. Il n'en est pas de même pour les vents locaux : au Cap Ferrat les vitesses sont beaucoup plus faibles voire nulles et aucune direction préférentielle n'apparaît. Une analyse des 43 périodes retenues montre que 31 fois la direction du courant est de SW simultanément aux niveaux -20 et -78 mètres. 4 fois elle est de SW sur un niveau. Pour les 8 cas restants, le courant est de secteur Nord en surface et Est en subsurface.

Des analyses plus fines de l'orientation des vents dans les différents secteurs et de leur force en relation avec les courants de surface et dans la couche sub-superficielle à Monaco, sont en cours.

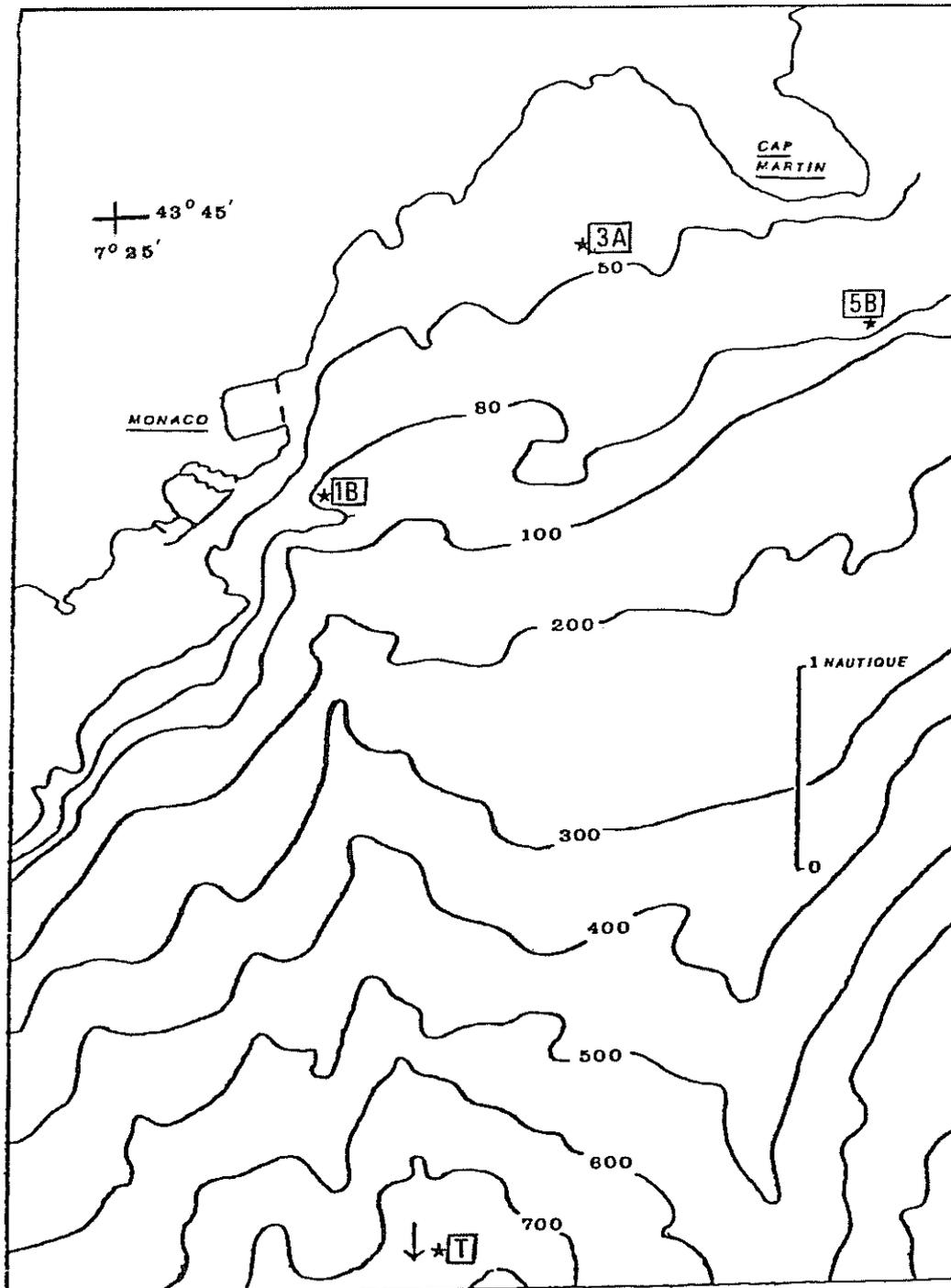


Figure 1. Mer de Monaco.
3A ; 1B ; 5B ; T position des stations de prélèvement.

VARIATION DE LA BIOMASSE ZOOPLANCTONIQUE EN BAIE DE MONACO

par

M. BOISSON, Y. CORLETTI, R. VAISSIERE

CENTRE SCIENTIFIQUE DE MONACO
16 Boulevard de Suisse
MC 98000 MONTE-CARLO

Les conditions hydrobiologiques de la mer de Monaco, ont été suivies de janvier 1979 à décembre 1983 inclus par des prélèvements bimensuels d'échantillons d'eau et d'organismes planctoniques sur trois stations côtières situées, l'une au centre de la mer de Monaco (3A profondeur 50 m.), les deux autres en bordure Est-Ouest (5B et 1B profondeur 80 m.) et comparées à celles relevées sur une station océanique à 6,5 miles dans le Sud de Monaco (T profondeur de 100 m.) (fig. 1). Cette communication décrit cinq ans de variations de la biomasse zooplanctonique en mer de Monaco et en indique certaines spécificités locales et annuelles.

MATERIEL ET TECHNIQUE

Le zooplancton a été récolté à ces stations entre 9h30 et 13h 30 par un trait vertical du fond à la surface (-200 m à la surface pour la station T) avec un filet WP2 de 200 μ de vide de maille et 50 cm de diamètre d'ouverture. Le prélèvement a été filtré sur filtre en fibre de verre de 0,45 μ de diamètre de pores (Whatman GF/C), le dépôt rincé avec une solution de formiate d'ammonium isotonique à l'eau de mer, puis lyophilisé est pesé immédiatement. Le poids est exprimé en mg.m^{-3} .

RESULTATS

Les caractéristiques générales de la biomasse zooplanctonique pour la période étudiée sont les suivantes :

- la biomasse minimum mesurée est de $0,262 \text{ mg.m}^{-3}$ en juin 1979. Deux autres valeurs très proches ont été obtenues en octobre et décembre 1981.
- le maximum absolu de biomasse est de 79 mg.m^{-3} en avril 1981 pour un prélèvement essentiellement composé de copépodes ;
- la biomasse moyenne calculée sur la totalité des échantillons est de $5,4 \text{ mg.m}^{-3}$.

VARIATION TEMPORELLE DE BIOMASSE

Ce cycle annuel moyen de la biomasse zooplanctonique a été établi en calculant la biomasse moyenne mensuelle toutes stations confondues. Il montre quatre phases de durée inégale (fig. 2) :

- a) un accroissement rapide entre janvier et avril, jusqu'au maximum annuel de biomasse ;
- b) une diminution de la biomasse jusqu'à 4 mg.m^{-3} en juillet ;
- c) une période de juillet à octobre où la biomasse reste constamment entre 4 et 5 mg.m^{-3} que l'on peut assimiler à la période de plancton d'été décrite par ROSE en 1926 ;

d) une décroissance d'octobre à décembre, suivie d'une stabilisation des teneurs autour de 2 mg.m^{-3} .

Sur le graphique du cycle annuel de biomasse est porté, pour chaque moyenne mensuelle, l'écart-type correspondant. On constate une très grande variabilité des teneurs de biomasse ; cette variabilité qui peut être estimée par le coefficient de variation, rapport de l'écart-type sur la moyenne, n'est pas identique toute l'année. Elle est maximum au début de la phase de stratification thermique qui coïncide avec la phase d'abondance zooplanctonique, où les teneurs de biomasse varient dans de larges proportions et les maximums diffèrent d'une année à l'autre en importance et quant à la période de leur apparition, et minimum pendant les minimum et maximum thermiques, c'est-à-dire en février et août respectivement. Le reste du temps le coefficient est constant. La comparaison des cycles annuels (fig. 3) met en évidence les faibles valeurs de biomasse mesurées entre le 1er juillet 1981 et le 30 juin 1982 (moyenne "annuelle" : $3,8 \pm 2,27 \text{ mg.m}^{-3}$). Les résultats du test de KRUSKAL et WALLIS comparent les biomasses mesurées dans cette période à celles observées pendant 3 autres périodes de même durée, débutant les 1er juillet 1979, 1980 et 1982 (tableau I) montrent clairement pour la station du centre de la mer de Monaco et à un moindre degré pour l'océanique la spécificité de cette période. Cette différence pourrait être la conséquence pour le zooplancton de l'accroissement de la salinité observé au cours du 2ème semestre 1981 et en 1982 à la suite d'un déficit dans les précipitations sur tout le bassin Nord-Occidental de la Méditerranée (BETHOUX N., BOISSON M., RAPAIRE J.L. & VAISSIERE R., 1983).

TABLEAU I

| Couples d'années | Centre de la mer de Monaco | | Océanique |
|------------------|----------------------------|------|-----------|
| | | | |
| 79-80/80-81 | 0,22 | 0,08 | |
| 79-80/81-82 | 2,84 | 0,75 | |
| 79-80/82-83 | 0,94 | 0,21 | |
| 80-81/81-82 | 3,32 | 1,23 | |
| 80-81/82-83 | 0,36 | 0,04 | |
| 81-82/82-83 | 1,48 | 1,69 | |

VARIATION SPATIALE DE LA BIOMASSE

La comparaison des biomasses entre les stations (tableau 2) a été conduite au moyen du test de KRUSKAL et WALLIS qui n'impose pas d'hypothèse sur le type de distribution des séries chronologiques de données. L'identité des stations se teste comme un χ^2 de telle manière que pour un K = 2,7 par exemple, on rejette l'hypothèse d'identité à un niveau 0,1.

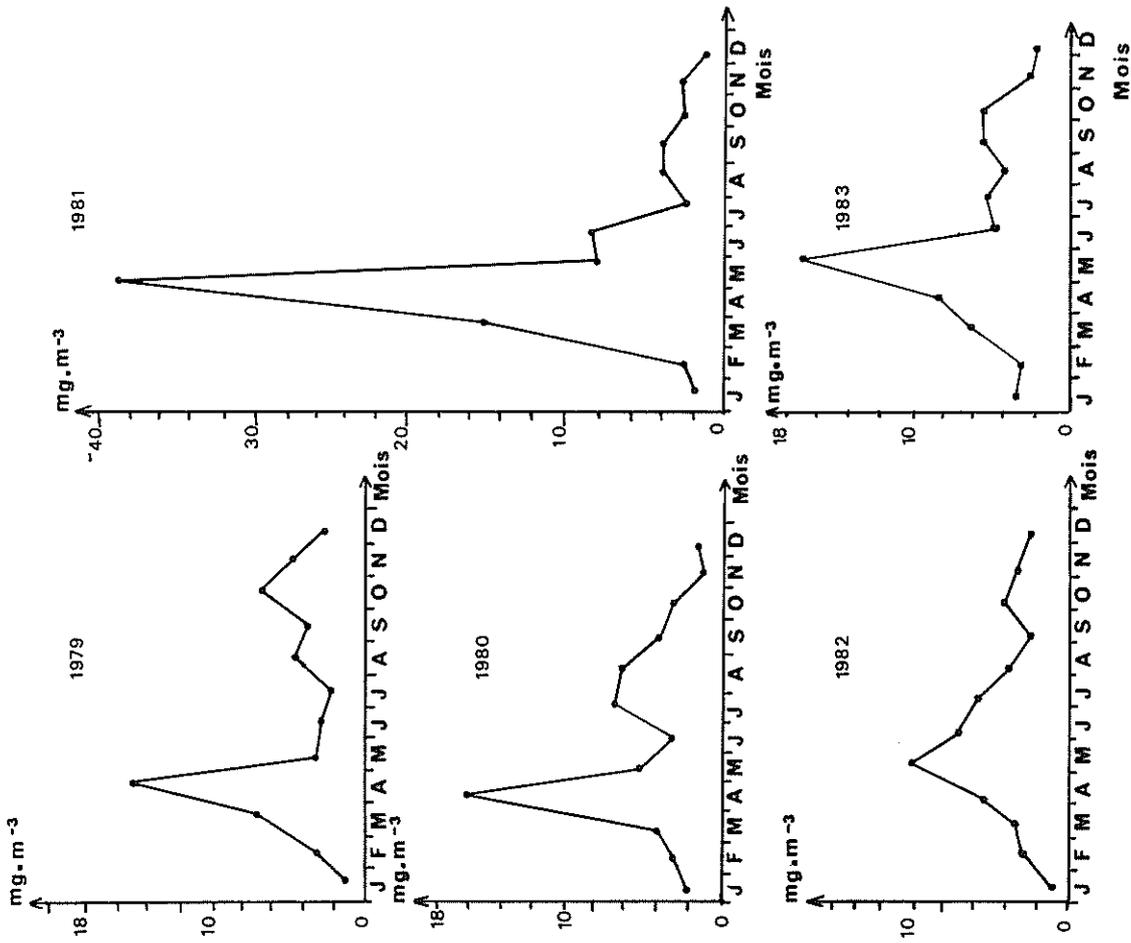


Figure 2. Cycle annuel moyen de la biomasse zooplanctonique. Moyenne mensuelle de cinq années de prélèvements toutes stations confondues.

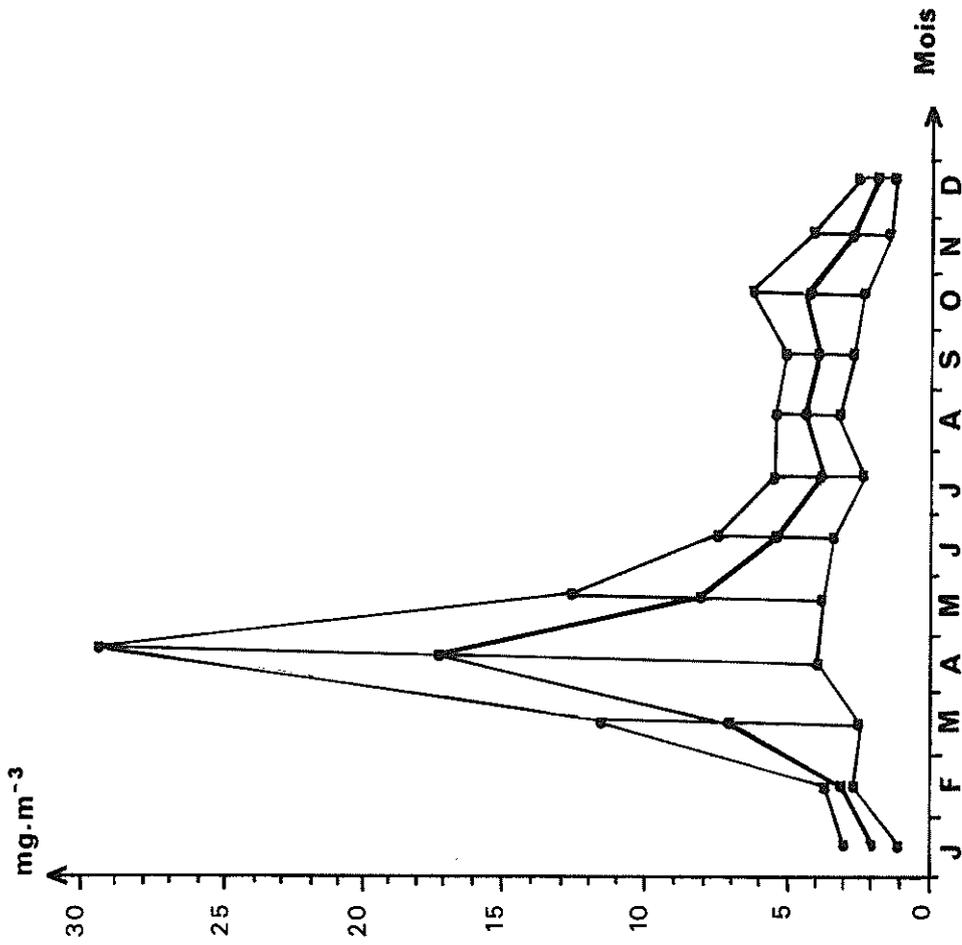


Figure 3. Cycles annuels de la biomasse zooplanctonique. Moyennes mensuelles toutes stations confondues.

Ainsi on rejette l'hypothèse d'identité de la station océanique avec les stations côtières à un niveau très significatif 0,0005 que l'on tient compte indifféremment du volume filtré ou du poids brut recueilli. L'identité entre les stations en bordure Est et Ouest de la mer de Monaco et celle du centre est à rejeter à un niveau très significatif de 0,0005. En contrepartie, on peut accepter à un niveau peu significatif 0,2 l'identité entre les stations en bordure de la mer de Monaco.

Si l'on suppose que le zooplancton est concentré dans les 75 premiers mètres, hypothèse vraisemblable d'après les observations de ROSE (1926) et de NIVAL (1975) le test indique que l'identité des biomasses entre la station océanique et les stations en bordure de la mer de Monaco (Est-Ouest) n'est à rejeter qu'à des seuils de 0,3 et 0,4 respectivement. La région néritique étudiée peut donc être divisée en deux zones distinctes de la zone océanique (station à 6,5 miles Sud de Monaco).

| | TEST SUR TOUTE L'ANNEE | | TEST SUR MARS-AVRIL-MAI | |
|---------|-----------------------------|-------------|-----------------------------|-------------|
| | Poids en mg.m ⁻³ | Poids bruts | Poids en mg.m ⁻³ | Poids bruts |
| | K | K | K | K |
| 3A / 1B | 8,8 | 8,2 | 0,89 | 3,3 |
| 3A / 5B | 8,4 | 7,2 | 0,085 | 4 |
| 3A / T | 57 | 13 | 4,6 | 10 |
| 1B / 5B | 0,047 | 0,047 | 0,014 | 0,014 |
| 1B / T | 35 | 0,65 | 1,6 | 4,1 |
| 5B / T | 32 | 0,95 | 2,6 | 3,2 |

| ACCEPTATION DE L'IDENTITE | K |
|---------------------------|---------|
| 0,05 | 0,00393 |
| 0,1 | 0,0158 |
| 0,2 | 0,0642 |
| | |
| REJET DE L'IDENTITE | K |
| 0,0005 | 12,1 |
| 0,05 | 3,84 |
| 0,1 | 2,71 |
| 0,2 | 1,64 |

Table des seuils de significativité.

Tableau II.

Comparaison des biomasses entre les stations au moyen du test de Kruskal et Wallis.

- une zone centrale (station sur des fonds de 50 m) ;
- une zone intermédiaire (deux stations sur des fonds de 80 m).

En appliquant le test aux périodes d'abondance zooplanctonique (Mars à Mai) les constatations suivantes peuvent être faites :

- pour les zones centrale et océanique, on rejette l'identité à un niveau 0,05 moins significatif que celui obtenu pour toute l'année ;
- on accepte l'hypothèse d'identité de la station Est de la zone intermédiaire vis à vis de la zone centrale à un niveau peu significatif de 0,3 alors que pour la station Ouest on rejette l'identité à un niveau peu significatif de 0,3 ;

- par rapport à la station océanique, on rejette l'identité à un niveau 0,1 mais l'hypothèse de la concentration du zooplancton dans les 75 premiers mètres conduit à rejeter l'identité à un niveau très significatif de 0,05. Ainsi, dans cette période de l'année, la dissemblance entre les stations et donc entre les zones est moins marquée. Cette tendance vers la similitude est nette en mer de Monaco (zone centrale et intermédiaire). Il faut remarquer qu'à cette période de l'année, des bancs de Thaliacés sont souvent présents sur toutes les stations et sont responsables de valeurs en biomasse élevées.

CONCLUSION

Les prélèvements bimensuels de zooplancton en mer de Monaco pendant cinq années consécutives ont permis de décrire un cycle moyen annuel de la biomasse à quatre phases. Il diffère de celui décrit par FENAUX & QUELART qui passe par un maximum en juin, et se rapproche de celui rapporté par DAUBY en baie de Calvi. Cependant, pour la région de Monaco, la phase de décroissance du pic de biomasse s'étale sur une période plus importante et les minimums de biomasse obtenus entre décembre et janvier sont moins élevés qu'à Calvi. Les valeurs de biomasse mesurées sont de l'ordre de grandeur de celles obtenues par d'autres auteurs en baie de Villefranche (FENAUX & QUELART, 1980) à Banyuls sur mer (RAZOULS et al., 1975) et pour la région de Gênes (DELLA CROCE et coll.). Le maximum de biomasse mesuré à Monaco est trois fois plus faible que celui observé durant la campagne MEDIPROD I (210 mg. m⁻³) et la moyenne de toutes les biomasses mesurées en mer de Monaco reste inférieure à celle calculée pour trois années de prélèvements par RAZOULS (14 mg.m⁻³). Les différences constatées sont à mettre en rapport avec les conditions de pêche qui diffèrent quant au type de filet, au mode de pêche et à sa fréquence et ne sont vraisemblablement pas indicatrices de différences régionales ou saisonnières dans la répartition du plancton. Dans la mesure où la fréquence d'échantillonnage est suffisante pour suivre un cycle annuel de la biomasse le traitement statistique des données par des méthodes d'analyses non paramétriques a permis de constater que l'année 1982 présentait une originalité du point de vue des teneurs en biomasse. Les faibles valeurs relevées pourraient être la conséquence des conditions météorologiques particulières observées à cette époque en Méditerranée occidentale. De même, la comparaison des teneurs en biomasse entre les stations a permis de définir dans la région étudiée, en province néritique, deux zones centrale et intermédiaire. La spécificité de la zone centrale a été ainsi confirmée, justifiant à posteriori le choix des stations pour l'étude des cycles biologiques dans la mer de Monaco.

BIBLIOGRAPHIE

- BETHOUX N., BOISSON M., RAPAIRE J-L., VAISSIERE R., 1983 - Anomalies de salinité observées en 1981-1982 dans la baie de Monaco.
Rapp. Commun Int. Mer Méditerranée 28-2 pp 163-167
- DAUBY M., 1980 - Cycle annuel de zooplancton de surface de la baie de Calvi (Corse). Biomasse totale et plancton copepodées.
Océanologica acta 3-4 pp 403-407
- DELLA CROCE N., FABIANO M., ZUNINI-SERTORIO T., 1981 - Biomasse planctonique, Sali nutritivi, parametre idiologici-Universita di Genova.

- FENAUX R. et QUELART G., 1977-Evolution de la biomasse zooplanctonique dans les eaux superficielles de la baie de Villefranche sur mer 1972.
Rapp. Commun Int. Mer Méditerranée 24-10, pp 159-162
- NIVAL M., NIVAL S. et THIRIOT A., 1975. Influence des conditions hivernales sur les productions phyto et zooplanctoniques en Méditerranée Nord occidentale - Biomasse et production zooplanctonique relations phyto-zooplancton. *Marine Biology* 31 pp 249 - 270.
- RAZOULS C. et THIRIOT A., 1973 - Données quantitatives de mesoplancton en Méditerranée Occidentale (saisons hivernales 1966-1970)
Vie milieu 23 pp 209 - 241.
- ROSE M., 1926. - Le plancton et ses relations avec la température, la salinité et la profondeur.
Annales de l'Inst. Océan. III fasc. 4, p. 242.

(Résultats acquis en partie en l'exécution d'un contrat conclu avec la Communauté).

Les auteurs désirent remercier l'équipage du N.O. RAMOGE pour leur assistance durant les opérations de prélèvement et l'équipe scientifique du Centre Scientifique de Monaco, ainsi que le Docteur J.P. Villeneuve du Laboratoire International de Radioactivité Marine pour la lyophilisation des récoltes de zooplancton.

SEASONAL VARIATIONS OF HEAVY METAL CONCENTRATIONS
IN MUSSELS AND SEA-URCHINS SAMPLED NEAR A HARBOUR AREA

A. VEGLIA and R. VAISSIERE

Centre Scientifique de Monaco,
16 boulevard de Suisse, Monte Carlo (Principauté de Monaco)

Concentrations of heavy metals (Cd, Cu, Pb, Hg) were determined in samples of mussels (Mytilus galloprovincialis) and sea-urchins (Arbacia lixula) collected in 1984-1985 near the new harbour of Monaco. Mussels were collected at the surface and sea-urchins at a depth of 5-6 metres. Only the soft tissues of mussels and the internal parts of sea-urchins were analysed. Tissues were analysed by atomic absorption spectroscopy (graphite-furnace for Cd, Cu, Pb and cold-vapour method for Hg).

Results of determinations are shown in Tables 1 and 2 (next page). There is a general tendency for metal concentrations to increase when the average dry-weight decreases and vice-versa. This is particularly evident for mussels. One can notice for these animals a strong increase of the concentrations of the four metals for the samples collected in April 1985.

Variations of metal concentrations in mussels according to the average dry-weight of the analysed animals follow the regression equation :

$$\log(c/\bar{c}) = -0.068 - 1.786.\log.(w/\bar{w})$$

$$r = -0.667 \quad (0.001 < p < 0.01)$$

c = average concentration of a metal in a given sample
 \bar{c} = overall mean of concentrations of this metal in all samples
w = average dry-weight of animals in a given sample
 \bar{w} = overall mean of dry-weights of animals in all samples

It can be shown that the slope of the corresponding regression line significantly differs from the theoretical slope -1.000 that one would get if the observed variations of concentration could be explained by variations of dry-weights of animals only. It appears that the mussels collected during the spring 1985 have metal concentrations which are too high to be explained by dry-weight variations only. Such high concentration values may be due to (1) a temporary augmentation of heavy metal concentrations in sea-water or (2) an increase in uptake rate due to a change in the physiological state of the animals. It is not possible to establish which hypothesis (1) or (2) is true on the basis of the data which are available. We notice, however, that the sampling of April 1985 happened in a period of phytoplankton production. Biological activity of mussels could increase, therefore, as the animals had more food at their disposal in that time.

A similar increase in heavy metal concentration was not observed for sea-urchins collected at the same time. This is probably due to the fact that mussels and sea-urchins belong to very different biological species and feed upon different foods. Heavy metal concentrations in sea-urchins seem to exhibit a general tendency to decrease when the dry-weight of the animals increases. The correlation coefficient, however, is not very high ($r = -0,499$, $0,02 < p < 0,05$) and other analysis of these animals is necessary to check this hypothesis.

Owing to the different responses of mussels and sea-urchins to heavy metals in their environment, further research is necessary if one wants to establish precisely the possibility of using sea-urchins as pollution indicators of coastal waters.

TABLE 1 Trace metal concentrations in mussels *Mytilus galloprovincialis* (soft tissues)

| Sampling date | Average dry-weight (g) | Concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry-weight) | | | |
|---------------|------------------------|--|---------------|-----------------|--------------|
| | | Cd | Cu | Hg | Pb |
| 1984-08-22 | 0.144 | 0.77 +/- 0.12 | 7.3 +/- 0.24 | 0.14 +/- 0.0240 | 2.1 +/- 1.20 |
| 1984-12-05 | 0.181 | 0.73 +/- 0.15 | 9.4 +/- 0.44 | 0.13 +/- 0.0220 | 1.6 +/- 0.51 |
| 1985-04-24 | 0.122 | 1.90 +/- 0.23 | 24.0 +/- 2.50 | 0.25 +/- 0.0077 | 8.9 +/- 1.70 |
| 1985-07-22 | 0.191 | 0.71 +/- 0.36 | 8.5 +/- 1.20 | 0.22 +/- 0.0280 | 2.3 +/- 0.57 |

TABLE 2 Trace metal concentrations in sea-urchins *Arbacia lixula* (internal parts)

| Sampling date | Average dry-weight (g) | Concentrations ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ dry-weight) | | | |
|---------------|------------------------|--|---------------|----------------|---------------|
| | | Cd | Cu | Hg | Pb |
| 1984-07-31 | 2.053 | 1.40 +/- 0.23 | 4.0 +/- 0.18 | 0.45 +/- 0.059 | 1.80 +/- 0.41 |
| 1984-12-05 | 1.080 | 2.00 +/- 0.46 | 8.1 +/- 1.00 | 0.53 +/- 0.036 | 4.00 +/- 0.64 |
| 1985-04-24 | 1.367 | 1.80 +/- 0.64 | 7.8 +/- 0.77 | 0.38 +/- 0.089 | 4.10 +/- 1.10 |
| 1985-07-22 | 1.608 | 0.61 +/- 0.055 | 13.0 +/- 0.77 | 0.34 +/- 0.011 | 0.95 +/- 0.29 |

Note : Means of analytical results of 5 sub-samples are given for each sample.
The indicated errors correspond to probability level of 0.95.

II. LABORATOIRE DE NEUROBIOLOGIE MOLÉCULAIRE

**Concentration intraneuronique de noradrénaline
en fonction des concentrations extracellulaires.
(Neurones d'*Aplysia*).**

par L. SEGU, M. BOISSON et N. CHALAZONITIS.

De nombreux travaux ont été consacrés à l'étude des modifications des propriétés bioélectriques neuroniques ou synaptiques par application directe de noradrénaline (NA) (1*, 2*, 3*).

Dans ce qui suit, on se propose de mesurer les concentrations atteintes par la noradrénaline dans les neurones d'*Aplysia* — concentrations intracellulaires — en fonction du temps, après avoir appliqué à l'extérieur du ganglion des concentrations connues et significatives en expérimentation physiologique. A cet effet, la détermination de la concentration intracellulaire a été effectuée par comparaison de l'intensité de fluorescence émise par des coupes neuroniques à celle émise par des coupes-supports-étalons contenant des concentrations connues de noradrénaline, ces dernières étant examinées à épaisseur égale à celle des coupes neuroniques. L'émission de fluorescence verte était obtenue par application de la méthode de Falck-Hillarp (4*), mieux adaptée à ce type de coupes. Il est connu que, selon cette méthode, la noradrénaline se transforme en un dérivé de 6-hydroxy-1,2,3,4 tétrahydroisoquinoline fluorescente *in situ* dans les coupes mêmes (4*, 5*).

Méthodes. — OBTENTION DE LA FLUORESCENCE. — L'entrée de la noradrénaline dans les neurones, sa transformation *in situ* en substance fluorescente, la mesure photométrique de la fluorescence et

(1*) L. Tauc, *Physiol. Rev.*, 1967, t. 47, p. 521.

(2*) H. Gerschenfeld et L. Tauc, *Nature*, 1961, t. 189, p. 924.

(3*) R. J. Walker, G. N. Woodruff, B. Glaizner, C. B. Sedden et G. A. Kerkut, *Comp. Biochem. Physiol.*, 1968, t. 24, p. 455.

(4*) B. Falck, N. A. Hillarp, G. Thieme et A. Torp, *J. Histochem. Cytochem.*, 1962, t. 10, p. 348.

(5*) T. L. B. Spriggs, J. D. Lever, P. M. Rees et J. D. P. Graham, *Stain Technol.*, 1966, t. 41, p. 323.

l'estimation de la concentration intracellulaire de la noradrénaline ont été effectuées comme suit : le ganglion viscéral d'*Aplysia* isolé, séjourne dans des bains de solution physiologique (eau de mer), contenant des concentrations de noradrénaline connues, pendant des temps connus. Ensuite, il est enrobé d'un morceau de muscle buccal et rapidement congelé aux vapeurs d'azote liquide (5°). Les coupes d'épaisseur optima (16 μ) sont faites dans l'enceinte d'un microtome à congélation entre —26° et —29°C, et placées sur lamelles. Ces coupes sont déshydratées à l'anhydride phosphorique, le tout placé sous vide primaire pendant 1 heure et demie.

La condensation de la noradrénaline au formaldéhyde *in situ* s'opère à 80°C pendant 45 minutes. Le taux d'hydratation optimum du paraformaldéhyde a été ajusté dans une enceinte fermée, en présence, pendant 10 jours, d'une solution de SO₄H₂ dont la densité a été ramenée à 1,5.

MESURE DE LA FLUORESCENCE. — Les coupes sont examinées à immersion sur fond noir (microscope à fluorescence Zeiss) excitées par des bandes appropriées d'U.V. résultant du filtrage d'une lampe à mercure. La mesure concerne l'intensité de fluorescence émise par une plage de surface cytoplasmique d'environ 10 μ de diamètre, délimitée par un obturateur placé au niveau du plan-image, lequel se forme sur la surface sensible du photomultiplicateur (PM). Ce dernier, du type XP 1002 Radiotechnique était alimenté à 900 V stabilisés.

Le photopotential du PM est amplifié et enregistré par un enregistreur XY Hewlett Packard, dont la sensibilité est suffisante. Le rapport signal/bruit est amélioré par filtrage approprié du bruit de fond à l'entrée de l'amplificateur. La linéarité du PM est vérifiée pour la zone d'intensité lumineuse utilisée, avec des filtres de densité étalonnés.

Résultats. — 1. OBSERVATIONS. — Par observation directe des coupes du ganglion d'*Aplysia* ou d'*Helix* traitées à la noradrénaline (1 mM, 5 mn) avant ou après condensation au formaldéhyde, excitées par

PLANCHE I.

Coupes à congélation provenant d'un ganglion d'*Aplysia Californica* traité à la noradrénaline (NA), 1 mM, pendant 5 mn.

Fig. 1. — Fluorescence de NA incorporée dans le cytoplasme neuronique de la cellule géante A et de ses voisines après condensation au paraformaldéhyde, 80°C, 45 mn.

Fig. 2. — Coupe témoin consécutive à la précédente, provenant du même ganglion (dont NA n'a pas été condensée au paraformaldéhyde). Seule, la périphérie du cytoplasme montre une faible autofluorescence.

Fig. 3 et 4. — Même ganglion, mais les coupes sont faites à un autre niveau. Les deux coupes montrent la fluorescence de la NA incorporée dans le cytoplasme de deux neurones géants, cependant que celle de l'environnement glial n'est pas négligeable. Le côté gauche de la fig. 3, correspond à la périphérie du ganglion, le côté droit supérieur de la fig. 4, correspond au centre du ganglion. On remarque un gradient de concentration de noradrénaline incorporée qui décroît de la périphérie au centre du ganglion.

conj : capsule conjonctive périphérique ; neur : neurophile au centre du ganglion.

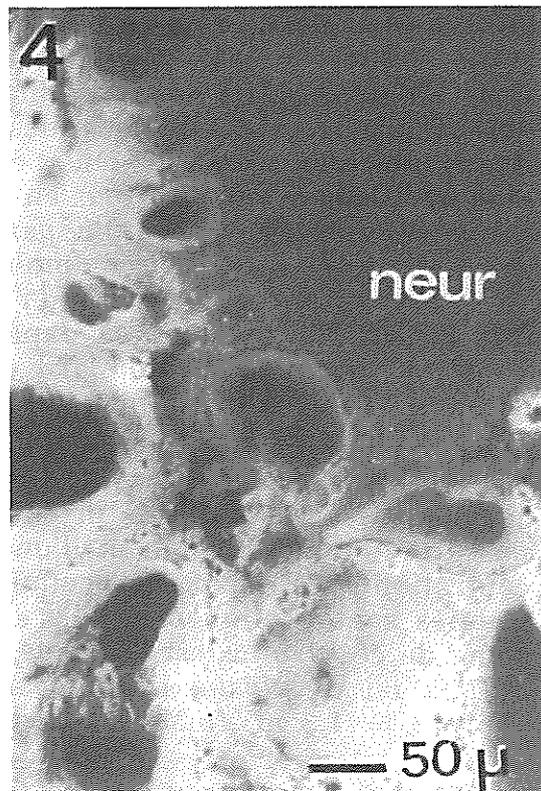
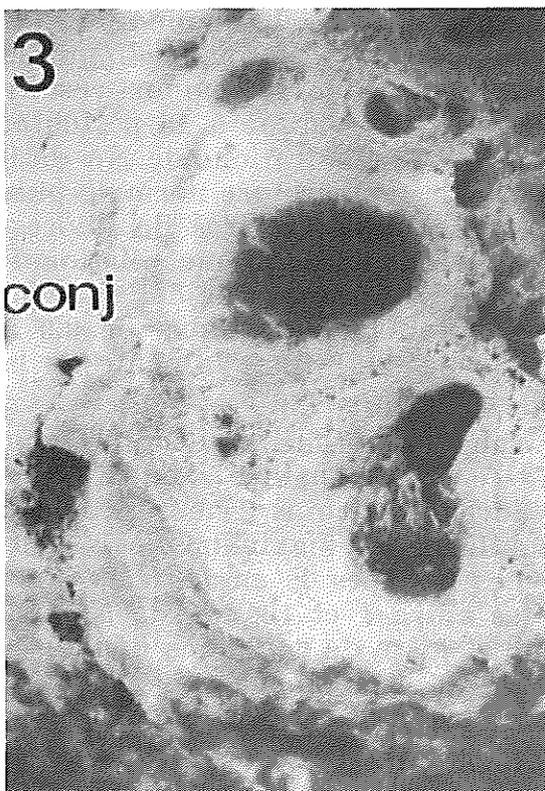
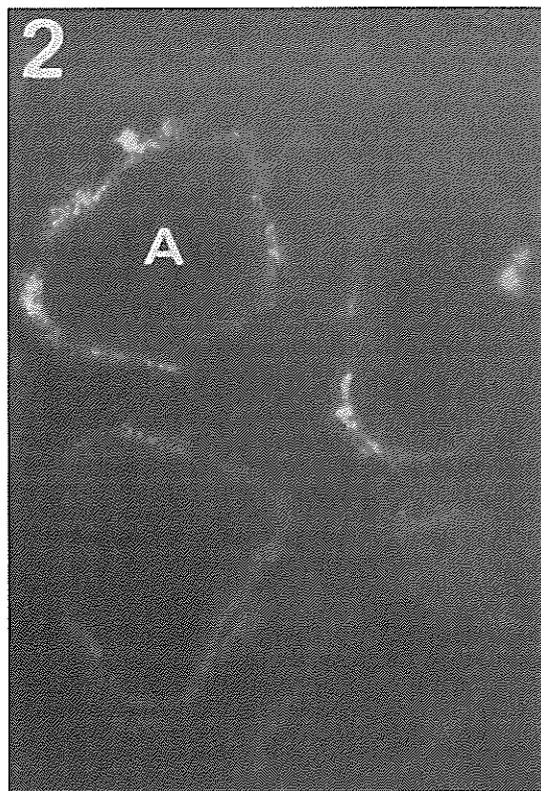
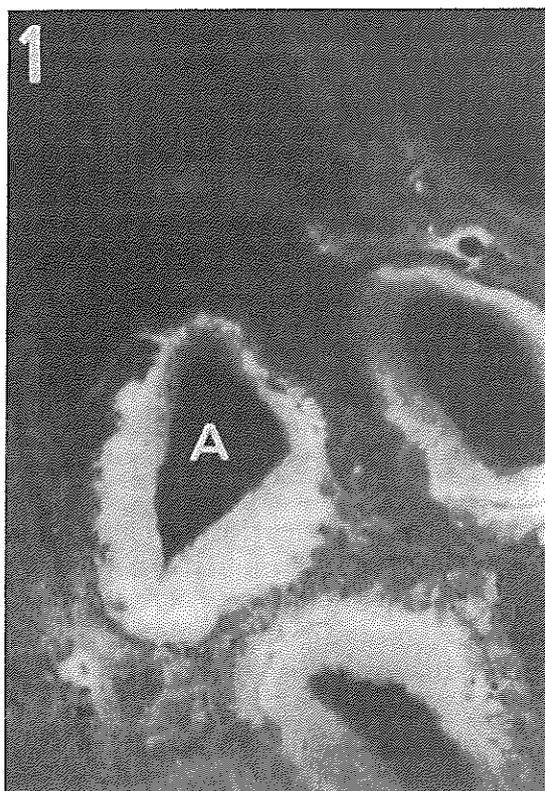


PLANCHE I.

l'U.V. on constate des différences de fluorescence élevées. Les coupes des neurones géants périphériques du type A non condensées au formol ne sont pas fluorescentes. Cependant, une faible autofluorescence est quelquefois observée à la périphérie (Planche I, fig. 2). Par contre, celles ayant subi la condensation au formol présentent un cytoplasme très fluorescent en vert, cependant que leur noyau en est dépourvu. Les neurones situés à la périphérie du ganglion sont plus fluorescents que ceux situés en profondeur, ce qui démontre que la distribution de la noradrénaline (NA) n'est pas uniforme dans les 5 premières minutes de son application (Planche I, comparer fig. 3 et 4).

2. ETALONNAGE DE L'INTENSITÉ DE FLUORESCENCE ÉMISE APRÈS CONDENSATION DE NA PAR LE FORMOL. — Il s'agit de trouver un support-modèle fixant des concentrations connues de NA dont on mesurera la fluorescence après traitement fluorogène analogue à celui des coupes. Ce support modèle doit répondre aux critères suivants : présenter une homogénéité de structure analogue à celle du cytoplasme ; ne pas avoir une autofluorescence importante.

Dans ce but, divers essais ont été faits : l'incorporation de NA dans des gouttelettes de protéines desséchées, effectuée selon Ritzèn (6*) ne garantissait pas toujours une épaisseur optimale des coupes. L'agar-agar mélangé à l'albumine, en tant que support mélangé à la NA et traité selon la technique du paragraphe précédent, émettait une fluorescence non uniformément répartie. Ceci était à l'origine d'une dispersion élevée des mesures de l'intensité de fluorescence. D'autre part, l'intensité maximum de fluorescence était atteinte à la concentration de 0,5 mM, cependant qu'elle doit être atteinte à une concentration 10 à 20 fois plus élevée ; de ce fait, ce support a aussi été abandonné. Un autre support mis à l'épreuve fut le mélange gélatine-ovalbumine, malgré l'inconvénient d'une faible autofluorescence. Ce support résulte du mélange, à parties égales, des solutions de gélatine à 16 p. 100 et d'ovalbumine à 50 p. 100. On y établit des concentrations de NA de 0 à 10 mM. Le mélange est pris en masse à la température normale puis traité comme la préparation ganglionnaire. Les mesures de fluorescence (F) sur des coupes homologues donnent lieu à une relation F en f [NA] quasi linéaire, tout au moins dans la zone utile des concentrations en NA utilisées en expérimentation physiologique, de 0,9 à 6 mM. A la sensibilité standard du fluoromètre utilisé, la pente de la droite obtenue, correspondrait à 0,93 mV/mM.

Un dernier support essayé fut le ganglion lui-même, dénaturé par la chaleur. A cet effet, le contact de ce tissu dénaturé avec diverses concentrations [NA] a été prolongé durant au moins 2 heures afin de s'assurer d'une diffusion et d'une équilibration maximum de la concentration [NA] dans les cellules. Les courbes F en f [NA] ainsi établies sont pratiquement des droites entre 1 et 10 mM de NA. La pente de ces droites est la même, qu'il s'agisse de ganglions dénaturés d'*Helix* ou d'*Aplysia*. Dans les conditions fluorométriques adoptées, $F/[NA] = 1,3 \text{ mV/mM}$, valeur plus élevée que celle obtenue avec le

(6*) M. Ritzèn, *Exper. Cell Res.*, 1966, t. 44, p. 505.

mélange gélatine-ovalbumine. Il semble ainsi que le ganglion dénaturé par la chaleur accumule de la noradrénaline par simple adsorption et la concentration finalement atteinte dépasse celle de la solution extérieure.

En conséquence, on ne peut retenir à présent comme étalon que le support gélatine-ovalbumine.

3. CONCENTRATION DE NA DANS LE CYTOPLASME EN FONCTION DE LA CONCENTRATION EXTRAGANGLIONNAIRE. — La saturation des cellules en NA s'effectue comme suit : d'une part, les ganglions viscéraux d'*Aplysia*, d'autre part, les ganglions périœsophagiens d'*Helix*, sont mis en présence des concentrations connues de NA variant de 0 à 50 mM pendant 30 mn, temps supposé suffisant à l'établissement d'une

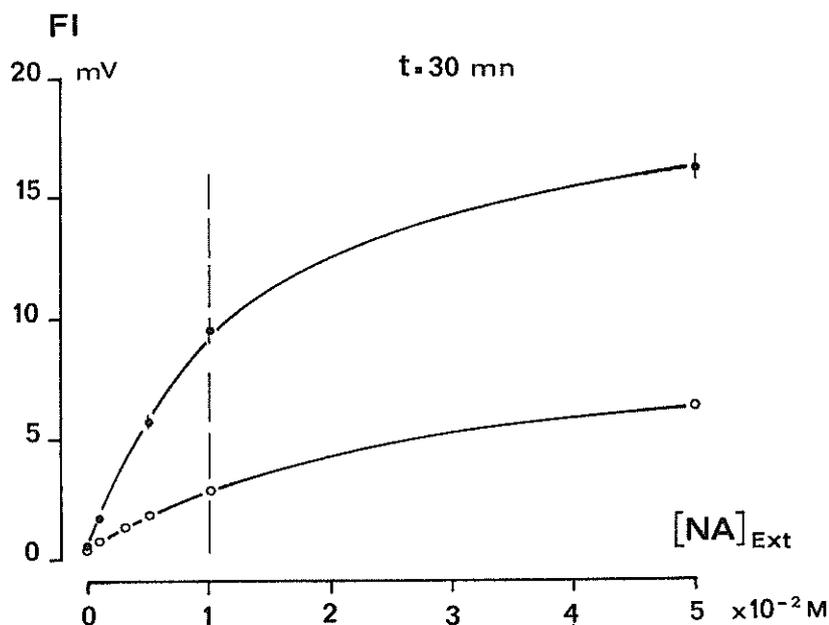


Fig. 1. — Concentration intracellulaire de noradrénaline (ordonnées), atteintes au bout de 30 mn, en fonction des concentrations extracellulaires (abscisses).

L'intensité de fluorescence dans le cytoplasme neuronique mesurée en mV, correspond approximativement à 1 mM de NA par mV. Courbes supérieure : *Aplysia*, inférieure : *Helix*. Le premier point de chaque courbe correspond à la fluorescence résiduelle du cytoplasme. Le deuxième point correspond à 10⁻⁴ M de NA extracellulaire.

On remarque qu'après 30 mn de diffusion de NA dans les ganglions vivants, la concentration intracellulaire (C_i) tend à égaliser l'extracellulaire (C_e) dans le ganglion d'*Aplysia*, si C_e est de 1 mM cependant que la diffusion de NA est très lente dans le ganglion d'*Helix*.

La ligne verticale en trait interrompu indique que la zone des valeurs $[NA]_e$ de 0,1 à 10 mM est seule intéressante en expérimentation physiologique.

concentration maximum dans les cellules. Après révélation de la fluorescence et mesure de son intensité (F), les courbes F en fonction de la concentration extérieure $[NA]_e$ étaient sublinéaires (fig. 1).

Les cellules dont on a mesuré la fluorescence se trouvent à la périphérie du ganglion et ne contiennent pas de vésicules granulaires. L'ultrastructure de leur cytoplasme est du type de celle décrite à

propos de la cellule géante A (7*), désignée aussi R₂ (8*). Les neurones contenant des granules de neurosécrétion du type Br (ou R₁₅) et A' (R₁₄) feront l'objet d'un examen particulier (Chalazonitis, résultats non publiés).

Le nombre des mesures déterminant la moyenne représentée par chaque point a varié de 35 à 70, et l'erreur standard est représentée. Une deuxième série d'expériences a confirmé la précédente.

La concentration utile à mesurer dans les neurones ne doit jamais dépasser 10 mM car, comme il est connu (6*), et comme il est confirmé ici, F cesse d'être proportionnelle à la concentration NA au-dessus de 10 mM dans le cas de modèles étalons.

Ce qui est à retenir de ces courbes, considérées dans l'intervalle de 0 à 10 mM de [NA]_e, c'est qu'elles restent au-dessous de la droite du support-étalon. Ceci signifie que, même au bout de 30 mn d'application de NA, les valeurs de NA intracellulaires restent toujours infé-

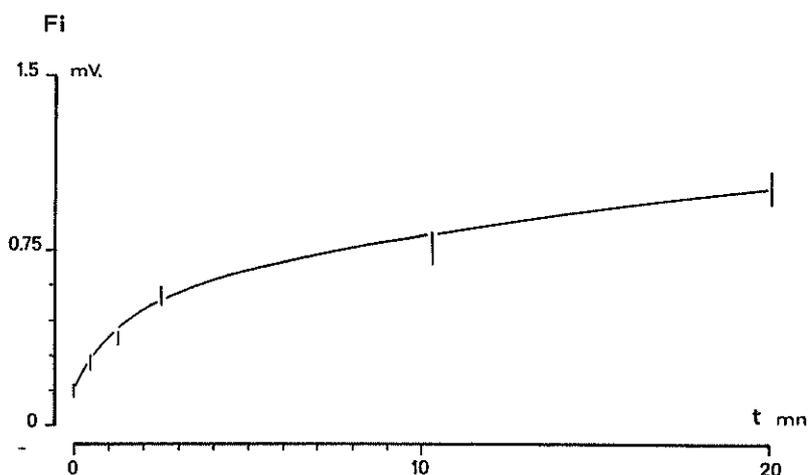


Fig. 2. — F : fluorescence du cytoplasme d'un neurone d'*Aplysia* normalement dépourvu de catécholamines, en fonction du temps d'incubation avec 1 mM de NA extraganglionnaire.

Le premier point de la courbe (à 0,15 mV) indique l'autofluorescence résiduelle. Selon l'étalon adopté (voir texte, 1 mV = approximativement 1 mM).

rieures aux valeurs extracellulaires ; autrement dit, le processus d'entrée de NA dans le cytoplasme est purement diffusionnel, tout au moins dans les conditions expérimentales adoptées.

On en conclut l'absence, tout au moins apparente, d'accumulation (uptake).

Par ailleurs, la comparaison des fluorescences des neurones d'*Aplysia* et d'*Helix*, dans cette même zone de concentration extracellulaire, de 1 à 10 mM, permet de conclure qu'en valeur relative, les neurones d'*Aplysia* sont perméables à beaucoup plus de NA que ceux d'*Helix*. Cette différence peut être due autant à la structure de la capsule ganglionnaire qu'à des affinités différenciées des cytoplasmes de ces deux ganglions.

(7*) A. Arvanitaki et N. Chalazonitis, *J. de Physiol.*, 1958, t. 50, p. 122.

(8*) W. Frazier, E. R. Kandel, I. Kupfermann, R. Waziri et R. Coggeshall, *J. Neurophysiol.*, 1967, t. 30, p. 1288.

4. CINÉTIQUE D'ENTRÉE DE NA DANS LE CYTOPLASME. — On a mesuré l'intensité de fluorescence (F) sur les coupes du même type de cellules après avoir laissé agir sur le ganglion normal NA, soit 1 mM, soit 5 mM pendant 2, 5, 30, 60 et 180 mn. Les courbes F en f(t) obtenues sont celles représentées par les fig. 2 et 3. On a ainsi constaté que F maximum est obtenue au bout de 2 heures de diffusion. Dans ce cas, on admet que F maximum représente une concentration intracellulaire maximum qui doit être très voisine de la concentration extracellulaire.

Si l'on intercepte alors dans cette courbe une valeur F, à la fin de la première minute de diffusion de NA, on trouve que NA accumulée dans le cytoplasme neuronique est équivalente à environ 0,17 mM.

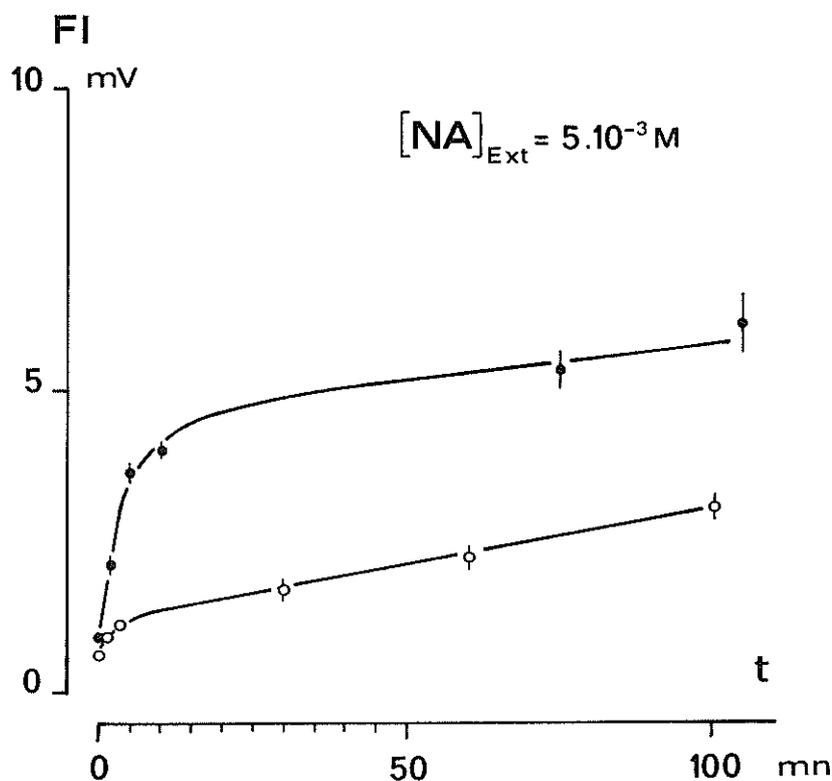


Fig. 3. — Concentration de NA atteinte dans le cytoplasme neuronique en fonction du temps, après application de 5 mM de NA extracellulaire. Ordonnées : intensité de fluorescence en mV ou mM (1 mV = 1 mM) ; abscisses : temps en minutes. Courbes supérieures *Aplysia*, inférieure *Helix*. Le premier point de chaque courbe, au temps zéro, correspond à l'auto-fluorescence en cytoplasme.

Cette valeur est très significative car les modifications bioélectriques les plus précoces — par exemple hyperpolarisations pour la plupart des types neuroniques — [(2*) ; Boisson et Chalazonitis, expériences non publiées] surviennent pendant la première minute. Il va sans dire que d'autres modifications bioélectriques consécutives nécessiteraient la détermination d'autres valeurs intracellulaires de NA à partir de la même courbe.

Enfin, la confrontation des courbes de la fig. 2 montre la différence remarquable de diffusibilité de NA dans les divers ganglions, tels que le ganglion viscéral d'*Aplysia* et le ganglion viscéral d'*Helix*.

D'autre part, on constate la quasi-linéarité de $[NA]_i$ en fonction du temps dans les 5 premières minutes, lorsque la $[NA]_e$ atteint 5 mM.

Conclusions. — La mesure des concentrations intracellulaires de NA atteintes dans le neurone après application de diverses concentrations extraganglionnaires *in vivo*, effectuée fluorimétriquement sur coupes, reste limitée dans la zone de 0,1 à 10 mM, à cause de la limitation de la validité des étalons.

L'entrée de NA dans ces neurones, normalement non adrénergiques, semble s'effectuer par un simple processus diffusionnel, tout au moins dans les limites des concentrations employées à l'extérieur du ganglion. Les courbes de cinétique d'entrée de NA sont directement utilisables en électrophysiologie, lorsque les concentrations extracellulaires ne dépassent pas 1 mM (*) (**).

(Laboratoire de Neurophysiologie cellulaire, Institut de Neurophysiologie et Psychophysiologie, C.N.R.S., 31, chemin J. Aiguier, 13 - Marseille 9^e et Laboratoire de Neurobiologie, Institut Océanographique, Monaco).

(*) Travail réalisé à l'aide des subventions du C.N.R.S., France et celle de National Institute of Health (Grant n° EY 00440).

(**) Nous remercions vivement M. D. André pour son aide technique en microphotographie.

ABOLITION BY NORADRENALINE OF THE WAVING BURSTING NEURONAL ACTIVITY (Br NEURON OF *APLYSIA FASCIATA*)

M. BOISSON and N. CHALAZONITIS

Centre Scientifique de Monaco (Neurobiologie Moléculaire) et C.N.R.S. (Institut de Neurophysiologie et Psychophysiologie de Marseille)

(Received 16 August 1971)

Abstract—1. Noradrenaline hyperpolarizes and stops the waving bursting activity of the *Aplysia* neuron.

2. Injection of a depolarizing current into the neuron re-establishes the initial level of the membrane potential, but not the waving bursting activity.

3. Further depolarization—threshold for spiking—leads to a single discharge without any waving bursting.

INTRODUCTION

WAVING BURSTING neuronal activity has been recognized in identifiable neurons of *Aplysia* as of endogenous, i.e. non-synaptic origin (Chalazonitis, 1959; Arvanitaki & Chalazonitis, 1964). In connection with this, evidence has been given on the possible transformation to waving bursting neurons of stable membrane potential neurons by cycloheximide action (Morales & Chalazonitis, 1970) and/or of tonic type pacemakers by epileptogenic agents (Chalazonitis & Takeuchi, 1968). In this paper the reverse transformation will be described: stabilization, i.e. abolition of the waving bursting normal activity of the Br soma by noradrenaline, and the subsequent behaviour of its membrane as a stable potential membrane under a threshold excitatory input.

MATERIALS AND METHODS

Two independent microelectrodes were inserted into the waving-bursting neuron of the *Aplysia* isolated ganglion (kept in sea water at 22°C). One of these permitted injection of current, the other the recording of the membrane potential. Oscillographic recording of the electrical activity or estimation of membrane resistance changes by the method of current square pulses has been carried out in the usual way. Noradrenaline solutions in sea water were freshly prepared at concentrations which will be indicated.

RESULTS AND DISCUSSION

By substituting a sea water–noradrenaline saline containing 0.1–1 μ mole/ml, the membrane potential of the cell increases between 30 and 60 sec and the waving-bursting activity stops (Fig. 1A). This hyperpolarization induced by noradrenaline

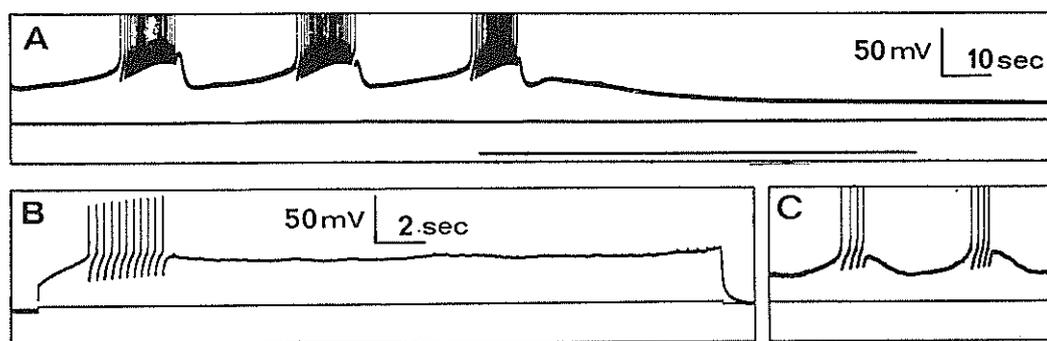


FIG. 1. Reversible abolition of the waving-bursting activity by noradrenaline. Upper traces: intracellular recording of the activity. Lower traces: line of the injected transmembrane current. A. Normal (22°C , air, sea water), waving-bursting activity of the *Aplysia* slowly oscillating neuron (without current injection). The lower bar: the surrounding sea water (1 ml) is substituted for 1 ml of noradrenaline, $1\ \mu\text{mole/ml}$: the membrane hyperpolarizes and the activity stops. B. Two min later, in the same cell with the injection of 2 nA depolarizing current, threshold for spiking; the cell responds with a single discharge. C. Ten min after washing the preparation, i.e. replacing noradrenaline solution by sea water, the initial waving-bursting activity starts reappearing. Scales: mV/sec, same as for A.

recalls earlier observations described by Kerkut & Walker (1961) on some *Helix* neurons, and by Gerschenfeld & Tauc (1961) on the D-type cells of *Aplysia*.

Thus the extracellular concentrations used in stopping the waving-bursting cells are slightly higher than the ones reported by Gerschenfeld & Tauc (1961) but far higher than the concentration reported by Kerkut & Walker (1961) for the inhibition of some snail neurons. The intracellular concentration reached in *Aplysia* neurons, generally after a contact of 30–60 sec—enough to stop the waving bursting cell—has been determined by fluorimetric measurements on *Aplysia* neuronal sections previously treated by the Falck–Hillarp method (Segu *et al.*, 1971). Kinetic data of the NA accumulation in *Aplysia* neurons reveal that with extracellular concentration of $1\ \mu\text{mole/ml}$, the intracellular concentration of NA when the activity stops does not exceed $0.1\ \mu\text{mole/ml}$.

After hyperpolarization, if depolarizing current (d.c.) is injected of generally about 1 nA intensity, in order to bring back the membrane potential to the initial level (before addition of noradrenaline), the neuron remains silent.

If more d.c. is injected (1–2 nA) and the MP level is now lower than the initial one, some degenerated waves of low amplitude reappear, sustaining bursts of spikes of decreased frequency.

When the action of the drug is prolonged (1–2 min after application) and the maximum intracellular concentration estimated between 0.15 and $0.3\ \mu\text{mole/ml}$, injection of more than 2 nA of d.c. is necessary to bring the cell to the firing level. Attainment of a firing level then elicits a single discharge of spikes with an absence of any slow waves (Fig. 1B). The instantaneous frequency of spiking is only decremental. In such a way, the membrane no longer responds to the threshold

d.c., as a waving-bursting type, but as a stable membrane type. As d.c. is functionally equivalent to an excitatory synaptic input, it turns out that the waving-bursting cell if it could normally—or even in pathological conditions—accumulate noradrenaline at about $0.1 \mu\text{mole/ml}$ of cytoplasm, would behave functionally in a totally different way to any excitatory synaptic input.

After elimination of noradrenaline by repetitive washing with sea water, a slow recovery to the initial state (waving-bursting) occurs gradually (Fig. 1C).

A decrease in membrane electrical resistance is also conspicuous during the hyperpolarization induced with noradrenaline. Such a decrease is independent of the hyperpolarization: even after reaching the initial level of the membrane potential by injection of long-lasting depolarizing d.c., the membrane displays a lowered resistance. The resistance decrease should be linked to the adsorption of noradrenaline in the membrane molecular framework. This initial value of the membrane resistance is slowly recovered by repetitive washing with sea water.

In conclusion, it must be pointed out that there is evidence that noradrenaline may abolish the normal oscillatory (waving bursting) function of some neuro-membranes, when they accumulate at a rather high concentration $0.1 \mu\text{mole/ml}$ in these cells.

REFERENCES

- ARVANITAKI A. & CHALAZONITIS N. (1964) Processus d'excitation d'un neurone autoactif sur ondes lentes. *C.r. Soc. Biol.* **158**, 1119–1123.
- CHALAZONITIS N. (1959) Chémopotentiels des neurones géants fonctionnellement différenciés. *Arch. Sci. Physiol.* **13**, 41–78.
- CHALAZONITIS N. & TAKEUCHI H. (1968) Simples oscillations du potentiel de membrane induites par le métrazol. *C.r. Soc. Biol.* **162**, 1552–1554.
- GERSCHENFELD H. & TAUC L. (1961) Pharmacological specificities of neurons in an elementary central nervous system. *Nature, Lond.* **189**, 924–925.
- KERKUT G. A. & WALKER R. J. (1961) The effects of drugs on the neurons of the snail *Helix aspersa*. *Comp. Biochem. Physiol.* **3**, 143–160.
- MORALES T. & CHALAZONITIS N. (1970) Ondes lentes du potentiel initiées par le cycloheximide au niveau du neurone géant d'*Aplysia*. *C.r. Soc. Biol.* **164**, 1792–1797.
- SEGU L., BOISSON M. & CHALAZONITIS N. (1972) Concentration intraneuronique de noradrenaline en fonction des concentrations extracellulaires (neurones d'*Aplysia*). *C.r. Soc. Biol.* **166**, 171–177.

Key Word Index—*Aplysia fasciata*; noradrenaline; Br-neuron; nerve-burst activity.

Niveaux de noradrénaline exogène dans le neurone sécrétoire géant (A') d'*Aplysia* au cours de modifications de l'électrogenèse, par N. CHALAZONITIS et M. BOISSON. (*Laboratoire de Neurophysiologie Cellulaire. C.N.R.S., 31, Ch. Joseph-Aiguier, 13274 Marseille Cedex 2.*)

Les courbes cinétiques de la concentration de NA atteinte dans le cytoplasme déterminées, soit fluorimétriquement (SEGU, BOISSON et CHALAZONITIS, *C. R. Soc. Biol.*, 1971, **165**, 922), soit après mesure isotopique de NA tritiée dans chacun des neurones géants isolés du ganglion (CHALAZONITIS, SEGU et RAGE, *J. Physiol., Paris*, 1972, **65**, 213 A) sont assez comparables et permettent la détermination des niveaux de NA atteints dans le soma au cours de deux modifications bioélectriques successives : 1° la fin de l'hyperpolarisation maximum lorsque la concentration cytoplasmique (C) correspond de 0,15 à 0,30 micromole/g de neurone ; 2° l'aptitude du neurone sécrétoire de répondre par ondes-salves au courant constant, lorsque C atteint entre 0,30 et 0,45 micromole/g. Si alors l'allure cinétique de l'accumulation de NA dans la membrane est du même type que celle concernant le cytoplasme, on remarque que l'hyperpolarisation maximum survient lorsque les sites de la membrane occupés par NA ne dépassent pas 30 %, cependant que l'apparition de l'oscillabilité nécessite entre 30 et 45 % de sites.

Effets rémanents de chocs thermiques sur l'activabilité synaptique ou la stabilité du potentiel des neurones identifiables d'*Aplysia*, par N. CHALAZONITIS et M. BOISSON (*Laboratoire de Neurophysiologie Cellulaire, C.N.R.S., I.N.P. 31, Ch. Joseph-Aiguier, 13274 Marseille Cedex 2.*)

Le neurone géant non sécrétoire A (ou R₂) du ganglion viscéral d'*Aplysia depilans* (adapté à 22°C), soumis à des chocs thermiques de 45 à 46°C pendant 3 minutes, n'est plus activable synaptiquement (atténuation ou même suppression de potentiels post-synaptiques d'excitation, PPSE). Cependant, ce neurone reste alors activable directement (injection de courant) ou antidromiquement. Par ailleurs, le neurone géant sécrétoire A' (ou R₁₁) du même ganglion soumis au même traitement thermique devient indéfiniment autoactif et continue d'être synaptiquement excitable. Les PPSE persistent encore à la suite de chocs à 48°C pendant 3 minutes, ainsi que ses excitabilités somatique et antidromique. Ces effets thermiques rémanents et différenciés témoignent d'une vulnérabilité thermique distincte de divers édifices macromoléculaires dont dépend la transmission synaptique (membrane présynaptique, vésicules, etc...) ou bien l'excitabilité neuronique (aires somatique, axonale, post-synaptique).

Ondes salves induites par des catécholamines sur un neurone sécrétoire d'Aplysie : étude en voltage imposé, par M. GOLA et M. BOISSON (présenté par A. ARVANITAKI). (*Laboratoire de Neurophysiologie Cellulaire, C.N.R.S., I.N.P., 31, ch. Joseph-Aiguier, 13009 Marseille.*)

Le neurone A' ou R₁₄ d'*Aplysia* hyperpolarisé par dopamine (10⁻⁴M) présente sous l'action d'un courant dépolarisant une activité à ondes salves semblable à celle du neurone Br ou R₁₅. La méthode développée pour l'analyse des ondes salves de Br^(*) a été appliquée à A'. La caractéristique I(V) stationnaire, obtenue en imposant un potentiel lentement croissant, présente une pente négative entre -35 et -14 mV. De part et d'autre de cette région la pente est positive. Selon que l'axe des V présente 1 ou 3 points d'intersection avec la caractéristique I(V) le neurone est autoactif ou stable. La résistance négative disparaît par addition de TTX 6 10⁻⁵M ou par suppression du Na : elle résulte donc de l'activation permanente d'une gNa à cinétique lente. La dopamine entraîne une augmentation de gK principalement à partir du seuil d'émission des pointes. Selon le modèle proposé pour le neurone Br^(*), les ondes salves de A' sont dues aux activations non synchrones de 2 conductances lentes gNa et gK. Le neurone A' régulièrement autoactif peut donc être considéré comme un neurone oscillant bloqué sur le plateau supérieur de l'onde de potentiel par défaut d'activation potassique.

(*) GOLA M. et ROMÉY G. (1973). *J. Physiol. (Paris)*, 67 (2), 277 A.

Récupération d'électrogenèse neuronale après un électrochoc, par N. CHALAZONITIS et M. BOISSON. (*CNRS, INP 2, 31, chemin J.-Aiguier, 13009 Marseille.*)

Les électrochocs utilisés, transmembranaires sur des neurones d'*Aplysia*, ont été des impulsions de courant anodique ou cathodique (de 1 μ A, 10 ms à 50/s), pendant une fraction de seconde. Dès l'arrêt de l'électrochoc, l'électrogenèse (amplitude du potentiel d'action, le potentiel et la résistance électrique de la membrane) tend vers zéro. La récupération de l'électrogenèse, si totale, nécessite plusieurs minutes. Elle est commodément mesurable par le temps de demi-récupération (t. 0,5) correspondant à la restauration de 50 % des valeurs des paramètres électriques. Il s'avère ainsi que : 1) pour un même neurone t. 0,5 est supérieur après un choc anodique que cathodique ; 2) que la récupération des résistance et potentiel de membrane est plus tardive que celle de l'amplitude du potentiel d'action ; 3) que les neurones autoactifs (par exemple neurone « Gen » rythmique) sont beaucoup plus vulnérables (récupération plus lente) que les neurones silencieux (type A et A') ; 4) on suggère que la récupération à l'échelle moléculaire, doit — entre autres — être considérée comme une réorientation des macromolécules — dipôles de la membrane désorientées pendant l'électrochoc — ; 5) que ces réorganisations moléculaires sont en relation avec les variations de biréfringence observées sur des axones (voir *Journal de Physiologie*, 1974, 69, 144-145 A).

Interprétation nerveuse des troubles de motricité animale résultant de pollution thermique*

par

MICHEL BOISSON

Laboratoire de Neurobiologie Moléculaire, Centre scientifique, Monaco

Abstract

Aplysia giant neurons are used as detectors of possible thermopollution effects on marine animals. For any one of identifiable thermosensitive neurons of *Aplysia* there are two characteristic hyperthermic levels : the first corresponding to reversible, the second to irreversible inhibition of the endogenous pace-maker activity.

* * *

Quelques auteurs étudiant la pollution thermique mentionnent des effets de la température sur le comportement des animaux marins poïkilothermes, susceptibles d'entraîner des troubles de motricité :

— d'une part, une diminution de l'efficacité de ses mécanismes moteurs de défense, vis à vis des prédateurs,

— d'autre part, une perte totale de la motricité.

Une question peut se poser alors : l'hyperthermie a-t-elle sur l'activité des neurones centraux de l'animal une action directe qui serait à l'origine des modifications du comportement? Des travaux entrepris par ARVANITAKI-CHALAZONITIS et CHALAZONITIS depuis 1962 et par CHALAZONITIS et moi-même plus récemment, peuvent apporter quelques éléments de réponse à cette question.

La préparation utilisée est le ganglion ventral isolé d'*Aplysia* (*Aplysia depilans* et *Aplysia fasciata*) mollusque opisthobranch vivant notamment en Méditerranée. Cette préparation est souvent utilisée par les neurophysiologistes car elle présente l'avantage d'être constituée par des neurones « géants » de longue survie, permettant l'enregistrement intracellulaire de leur activité électrique. Cette particularité a conduit à une bonne connaissance du type d'activité de ces neurones, rendant possible l'utilisation de neurones dont les fonctions bioélectriques sont spécifiques. Ces types fonctionnels ont d'ailleurs été retrouvés, à maintes reprises, chez d'autres animaux marins, mollusques, crustacés et même chez les insectes et les vertébrés supérieurs. En outre, l'activité de certains de ces neurones a pu être mise en relation avec un comportement spécifique de l'animal.

Effet des transitions thermiques

La procédure expérimentale est ainsi conduite. Le ganglion ventral de l'*Aplysie* est isolé et placé dans une cuvette contenant de l'eau de mer (liquide physiologique de l'animal). Les variations thermiques sont assurées par circulation d'eau ou par effet Peltier. Après l'insertion des microélectrodes dans les

* Cette communication, présentée à l'occasion du Congrès, a été replacée dans les exposés des Journées d'Études, en raison de la nature du sujet traité.

neurones, le ganglion nerveux est soumis à un réchauffement progressif de l'ordre de $0,7^{\circ}\text{C/s}$ à partir de la température d'adaptation de l'animal qui est de $22^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Les transitions thermiques imposées permettent les observations suivantes :

Pour la majorité des neurones, une hyperthermie se traduit par un ralentissement de leur activité électrique aboutissant finalement à un arrêt complet. Si on évalue la fréquence de l'activité des neurones en fonction de la température [ARVANITAKI & CHALAZONITIS, 1963] on constate l'existence d'optimum thermique où l'activité de certains neurones est maximale, immédiatement suivie d'une réduction puis, de l'arrêt de l'activité de ces neurones autrement dit d'une inhibition hyperthermique. Les températures seuils à cette inhibition hyperthermique sont distribuées suivant les neurones entre 25°C et 36°C , ce qui correspond à des augmentations de $+ 3^{\circ}\text{C}$ à $+ 14^{\circ}\text{C}$ par rapport à la température d'adaptation de l'animal.

Un exemple particulier de cette inhibition thermique concerne le neurone qui semble commander la locomotion de l'Aplysie. En effet, la mise en activité de ce neurone suivant un rythme nycthéral entraînerait et soutiendrait la locomotion de l'animal, inversement, l'arrêt bioélectrique de ce neurone immobiliserait l'Aplysie [STRUMWASSER, 1967, WILLOW, 1973]. On constate qu'à $+ 6^{\circ}\text{C}$ au-dessus de la température d'adaptation de l'animal, ce neurone, dont l'activité normale est à décharge périodique, manifeste des potentiels d'hyperpolarisation géants et, de ce fait, se trouve spontanément inhibé [CHALAZONITIS, 1962]. En conséquence, l'arrêt spontané de ce neurone en hyperthermie pourrait entraîner l'immobilisation de l'animal. En dehors de ces hyperpolarisations et inhibitions de l'activité des neurones qui peuvent se traduire par l'arrêt de la motricité volontaire de l'animal, il peut exister, en hyperthermie, des modifications de l'activité des neurones tout à fait anormales. Le comportement d'un neurone identifiable d'*Aplysia* en est un exemple. Ce neurone, autoactif, à l'état normal présente une activité rythmique régulière, c'est-à-dire une émission de potentiels d'activité dont la fréquence est constante. Il a été démontré que cette activité a son origine en un foyer de rythmicité endogène au neurone. Dès qu'une augmentation de 7°C est imposée à ce neurone, son activité change radicalement [ARVANITAKI-CHALAZONITIS, 1962] : des groupements de pointes (influx nerveux) périodiquement inhibés par des intervalles d'hyperpolarisation deviennent manifestes et évoluent finalement vers une configuration caractéristique en ondes carrées. Ces ondes carrées du potentiel ont été retrouvées sur d'autres neurones par action de convulsivants. Ces ondes anormales dénotent donc une modification du fonctionnement du foyer de rythmicité endogène au neurone due à l'hyperthermie.

Il est à remarquer que le retour à des conditions normales de température entraîne une réversibilité du phénomène bioélectrique. Cette réversibilité se caractérise cependant par une hystérésis dans l'action de la température sur l'activité des neurones.

Effet des chocs thermiques

Un autre aspect des troubles fonctionnels imposables par hyperthermie est celui créé par chocs thermiques. Dans ce type d'expérience, le ganglion ventral d'Aplysie est soumis avant l'insertion des microélectrodes à une double transition thermique. Il passe brusquement de la température d'adaptation de l'animal à la température du choc où il reste pendant trois minutes et est ensuite remis instantanément à la température normale. Ces conditions sont à peu près similaires à celles déjà signalées [ANCELLIN *et Coll.*, 1973] que subissent certains animaux absorbés par un circuit de refroidissement d'une centrale électrique (choc thermique de 5 à 15°C , pendant 5 minutes).

Dans cet ordre d'idées, les observations faites peuvent se classer en trois groupes :

a. Température léthale spécifique (sous forme de chocs thermiques pour chaque neurone) : celle-ci varie de 40°C pour le neurone le plus sensible à 49°C pour le moins sensible, soit des chocs thermiques de $+ 18^{\circ}\text{C}$ à $+ 27^{\circ}\text{C}$.

b. Effets rémanents et subléthaux : c'est le cas du neurone commandant la locomotion chez l'Aplysie. Celui-ci dont l'activité normale, rappelons le est à décharge périodique présentant une décharge toutes les 20 à 30 s, manifeste après un choc d'environ $+ 12^{\circ}\text{C}$ une activité erratique formée de longues périodes d'inhibition d'une durée d'environ 2 minutes suivies de temps en temps de l'émission d'une courte salve. Cette modification de l'activité du neurone peut être enregistrée plus d'une demi-heure après le choc et devrait se traduire par l'immobilisation de l'animal [BOISSON & CHALAZONITIS, *expériences non publiées*].

c. Effets synaptiques rémanents : c'est le cas d'un neurone stable normalement activable synaptiquement. Il perd cette faculté pour un choc thermique de $+ 22^{\circ}\text{C}$ [CHALAZONITIS & BOISSON, 1973]

alors qu'il demeure parfaitement activable, après ce même choc, par injection de courant ou antidromiquement. Cette observation met en évidence l'existence d'une différence de vulnérabilité à la température des multiples aires morphologiques d'un même neurone (aire somatique, axonique, post-synaptique et bouton synaptique). De tels effets pourraient être à l'origine d'une diminution de l'efficacité des voies nerveuses motrices de l'animal par une réduction des phénomènes de divergence et de convergence synaptique.

Conclusion

Ces résultats partiels des effets de l'hyperthermie sur les neurones centraux d'un mollusque marin mettent en évidence les écarts thermiques responsables de ces effets et leur diversité. Ainsi, une élévation de température de 8°C est suffisante pour observer l'inhibition du lieu de genèse de la locomotion ou pour créer des modifications du foyer de rythmicité endogène des neurones. Des thermochocs, comparables à ceux que pourraient subir des animaux aspirés par le circuit de refroidissement d'une centrale électrique, seraient capables de produire sur le système nerveux central de ces animaux plusieurs effets :

1. La destruction des neurones les plus sensibles à la température.
2. L'induction de comportements erratiques rémanents sur certains neurones.
3. La destruction sélective de certaines aires morphologiques d'un même neurone.

A la fin de ce travail relatif à l'interprétation d'un comportement par les modifications de l'activité électrique de neurones modèles surtout impliqués à la motricité, on ne prétend pas exclure des effets hyperthermiques possibles s'exerçant directement sur d'autres fonctions des animaux, telles par exemple musculaire ou glandulaire. Cependant, on pense que la rapidité du contrôle exercé par le système nerveux sur la motricité doit être la première prise en considération.

Références bibliographiques

- ANCELLIN (J.), EUSTACHE (M.) & VILQUIN (A.), 1973. — Effets de l'élévation de la température du milieu sur la vie marine : étude bibliographique, Cherbourg, Laboratoire de radioécologie marine CEA.
- ARVANITAKI-CHALAZONITIS (A.), 1962. — Plateaux de dépolarisation et train paroxystique de pointe en hyperthermie, sur certains neurones identifiables d'*Aplysia*. *C.R. Acad. Sci., Paris*, **225**, p. 1523.
- ARVANITAKI (A.) & CHALAZONITIS (N.), 1963. — Patterned activities from identifiable *cold and warm* giant neurons (*Aplysia*). *Proc. of the 1st International symposium on olfaction and taste*. Pergamon Press.
- CHALAZONITIS (N.), 1962. — Inhibition thermique des ondes lentes d'un neurone géant identifiable (neurone Br d'*Aplysia fasciata*). *C.R. Acad. Sci. Paris*, **225**, pp. 1652-1653.
- CHALAZONITIS (N.) & BOISSON (M.), 1973. — Effets rémanents de chocs thermiques sur l'activité synaptique ou la stabilité du potentiel des neurones identifiables d'*Aplysia*. *J. de Physiol.*, **67**, 3, p. 335 A.
- STRUMWASSER (F.), 1967. — Neurophysiological aspects of rhythms, in *The Neurosciences*. Ed by G.C. Quarten, T. Melnechuk & Schmitt F.O., pp. 516-528, New York, Rockefeller Univ. Press.
- WILLOWS (A.O.D.), 1973. — Learning in gastropod mollusks, in *Invertebrate Learning Arthropods and Gasteropod Mollusks*, pp. 184-254.

CURRENT-VOLTAGE RELATIONS IN ILD- OR DOPAMINE-STABILIZED BURSTING NEURONE IN *APLYSIA*

M. BOISSON AND M. GOLA

Département de Biophysique des Neuromembranes, Institut de Neurophysiologie et Psychophysiologie, 31, Chemin Joseph-Aiguier 13274 Marseille Cedex 2, France.

(Received 10 December 1975)

Abstract—The stabilization of R_{15} *Aplysia* bursting neurone with dopamine or during ILD was studied under both current and voltage clamp conditions:

1. During ILD or dopamine-induced hyperpolarization, R_{15} behaves like a stable neurone, i.e. responding with phasic or phasico-tonic discharge to outward current;
2. In normal conditions, the quasi steady-state i - V relation was determined using slow potential ramps. Two features appear essential in slow potential wave genesis: steady negative resistance and current hysteresis originating in very slow current changes;
3. Dopamine or ILD decrease both negative resistance and hysteresis and the resulting i - V characteristic is like that of a stable neurone.
4. From ramp potential data, R_{15} stabilization induced by dopamine or during ILD is interpreted to result from removal of K-inactivation.

INTRODUCTION

Former experiments have shown that under certain conditions dopamine (Ducreux & Chalazonitis, 1971) or noradrenaline (Boisson & Chalazonitis, 1972; Boisson, 1973) could change a bursting neurone of *Aplysia* into a stable neurone. It will be reported below that a similar alteration is to be observed in this neurone during long-lasting inhibition (or ILD) resulting from synaptic input and that alterations in current-voltage characteristics, obtained under voltage clamp, are associated to the changes in types of activity.

METHODS

The experiments were performed on the bursting neurone Br or R_{15} in the parietovisceral ganglion of *Aplysia depilans* and *Aplysia fasciata*. The neurones were identified by size, location and pattern of discharge (Arvanitaki & Chalazonitis, 1958; Frazier *et al.*, 1967). The ganglion was isolated with its two connectives and pinned dorsal side up in a plexiglass chamber in which bathing solution could be changed. Ag-AgCl electrodes were used to stimulate the nerves.

Two independent glass micro-electrodes filled with 2.5 M KCl were inserted in the cell for recording and current injection. The current electrode had a resistance of 1.6–2.5 M Ω ; the recording electrode, 2–5 M Ω , the reference electrode was a sea water-Ag-AgCl agar bridge. The electrical circuit for current or voltage clamping was similar to that previously described (Gola & Romey, 1971). To determine i - V relations, ramp pulses or symmetrical triangular ramp pulses of potential were applied to the control amplifier input. A direct i - V plot was obtained by applying the transmembrane current to the vertical input and the current to the horizontal input of a Tektronix 502 A oscilloscope. The artificial sea water (ASW) was composed of (mM) NaCl 494; KCl 10; CaCl₂ 10; MgCl₂ 20; MgSO₄ 30; Tris pH 7.7 10. Dopamine ($1-5 \cdot 10^{-4}$ M) was dissolved in artificial sea water just before use. Experiments were made at room temperature 18–21°C.

RESULTS

1. Abolition of bursting activity by dopamine or during an ILD

Treatment with ASW containing dopamine induces two reversible effects in R_{15} (Ducreux & Chalazonitis, 1971): (1) the membrane potential slowly increases (up to 15 mV) over the course of 30–100 seconds resulting in a cessation of discharge (Fig. 1A) and (2) the modal activity is thoroughly changed as can be observed with a constant outward current injected 120 sec after drug addition (Fig. 1C). The depolarization caused by the current leads to a phasic-type response and no more bursts of spikes can be observed whatever the current intensity may be. Thus, in the presence of dopamine, the R_{15} neurone becomes hypoexcitable and behaves like a stable neurone.

In R_{15} , inhibitions lasting for minutes was observed (1) on warming (Chalazonitis, 1962), (2) with electrical stimulation of either the right pleurovisceral connective (Chalazonitis, 1962; Parnas *et al.*, 1974), the left pleurovisceral connective (Arvanitaki & Chalazonitis, 1965) or the branchial nerve (Frazier *et al.*, 1967) and (3) by mechanical stimulation of the osphradium (Jahan-Parwar & Von Baumgarten, 1969). This long hyperpolarization is known as inhibition of long duration—ILD—and is very similar to that described by Tauc (1960) in some identifiable neurone of *Aplysia*.

Repetitive stimulation of the left connective causes synchronous epsp's in R_{15} . At the end of the stimulation, the epsp's are followed by the ILD. The duration of the hyperpolarization (up to 30 min) increases with the duration of stimulation.

The membrane excitability was studied with current injection during ILD produced by repetitive stimulation (2 min, 1–5 Hz) of the left connective. As was observed with dopamine, depolarizing current

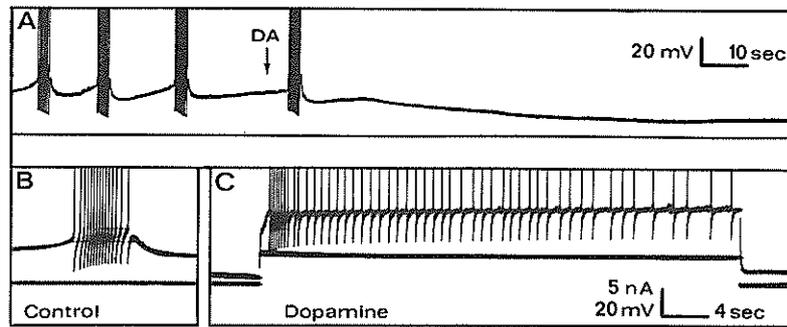


Fig. 1. Abolition of bursts and stabilization of a R_{15} neurone with dopamine. A: hyperpolarization of the cell by application of dopamine $5 \cdot 10^{-4}$ M (arrow). B: spontaneous burst of spikes in normal solution. C: phasic-tonic behavior of the cell illustrated in B in response to outward current step, after 60 sec dopamine perfusion.

did not re-establish bursting activity. With a threshold intensity, there was a phasic or phasic-tonic type response (Fig. 2B). Besides the spikes appeared at a threshold potential more negative (5 mV) than before ILD.

The alteration in the type of activity during an ILD is therefore similar to that obtained through dopamine: the bursting neurone then behaves like the R_2 stable neurone. With a shorter stimulation sequence (less than 1 min), the same events occurred, but were more transitory. During the outward current step, the neurone exhibited continuous discharge which tended towards bursting activity (Fig. 2C). This indicates that membrane oscillability is restored during the decay of ILD.

2. Membrane characteristics using slow potential ramps

Several important features of bursting neurones can be demonstrated by controlling the clamp system with slow ramp functions (Gola, 1974a and b; 1975). When the ramp slopes (positive or negative) are very low (0.5–5 mV/sec) the capacitive currents are negligible. Furthermore the conductances of the fast ionic currents (fast inward current and delayed outward current) are continuously kept in the inactivated state and the corresponding currents eliminated.

In a typical experiment, the membrane was previously hyperpolarized (-70 to -90 mV) by a constant inward current. The current–voltage relations, $i(V)$ characteristics, were then obtained with a depolarizing ramp—forward $i(V)$ characteristic; followed by a repolarizing ramp of identical slope and amplitude—backward $i(V)$ characteristic. The amplitude of command potential ramps were 60–80 mV (Fig. 3).

With this method, it has been possible to demonstrate two phenomena which appear to be essential in the genesis of the slow potential waves underlying the bursting activity.

The first is a negative slope resistance on the forward $i(V)$ characteristic. This negative resistance exists in steady-state and its threshold is at -41 mV \pm 4 (N = 12).

The second is a hysteresis of the current, linked to the sweeping direction (positive or negative slope of the ramp function) (Fig. 3C). The hysteresis is due to a slowly developing outward current mainly carried by K^+ ions (Gola, 1975; Smith *et al.*, 1975).

On each of the $i(V)$ characteristics, there is a corre-

sponding operating point defined by the intersection of the $i = 0$ axis with the characteristic. For the membrane initially hyperpolarized the operating point is at -16 ± 5 mV (N = 11) and for the membrane initially depolarized it is at -56 ± 4 mV (N = 10). Membrane hyperpolarization, either passive or active, thus leads to depolarizing processes whereas its depolarization induces processes causal to membrane potential increase. The slow potential changes underlying bursting activity can be interpreted as due to the slow current transition between the two characteristics (Gola, 1974 a; 1975).

3. $i-V$ characteristics during ILD or in presence of dopamine

The $i(V)$ characteristics of R_{15} were obtained, as indicated above during normal activity of slow waves

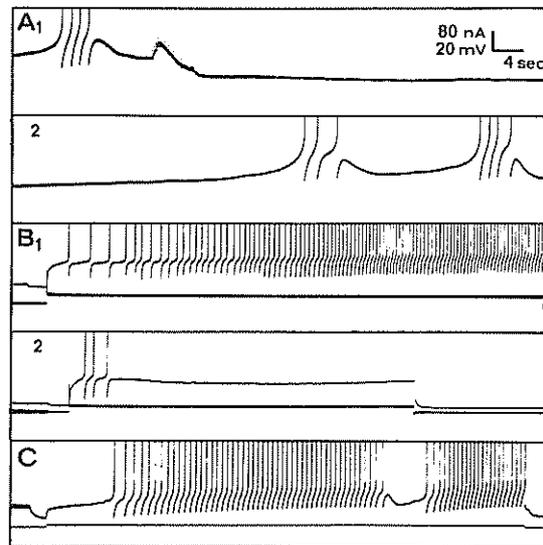


Fig. 2. Electrical stabilization of a R_{15} bursting neurone during ILD. A: ILD produced by repetitive stimulation of the left pleurovisceral connective (5 sec stimulation at 4/sec). 10 sec interruption between rows A_1 and A_2 . B: Phasic (B_1) or tonic (B_2) firing in response to outward current applied just after long stimulation of the left pleurovisceral connective. 2 min stimulation at 1/sec in B_1 and B_2 . C: Recovery of bursting activity during outward current step applied after short repetitive stimulation (20 sec–1/sec) of the left pleurovisceral connective.

Current-voltage relations

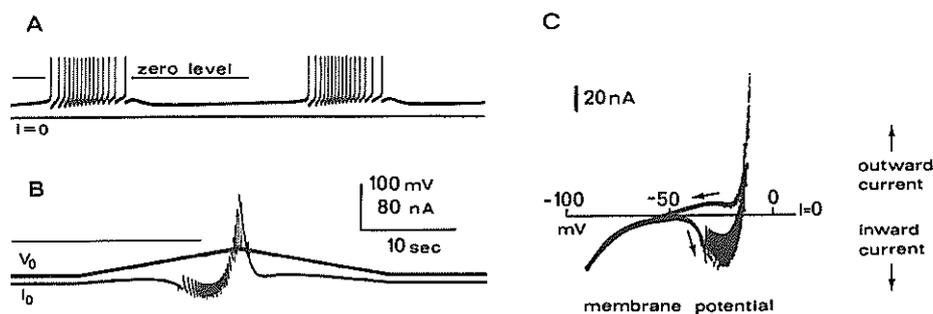


Fig. 3. i - V characteristics using slow potential ramps. A: Potential recording of a R_{15} bursting neurone. B: Current time record (lower trace) in response to slow depolarizing and repolarizing ramps (upper trace). The horizontal line in A and B is the zero potential level. Ramp slope: 1.85 mV/sec. C: i (V) characteristics obtained with slow potential ramps as illustrated in B. The sweeping direction is indicated by small arrows. Ramp slope: 1.2 mV/sec. The fast current changes in B and C are likely due to axonal activation.

and during the hyperpolarization following addition of dopamine ($1-5 \cdot 10^{-4}$ M). The most immediate effect of dopamine is the important decrease and sometimes the disappearance of the negative resistance on the forward i (V) characteristic (Fig. 4A). The backward i (V) characteristic is slightly modified only by an increase in the slope for polarizations less than 65 mV. Accordingly, the hysteresis of the recordings disappears almost completely. Thus dopamine has suppressed the two conditions considered essential for the genesis of the slow waves of potential: negative resistance and current hysteresis. The i - V characteristic of the dopamine treated R_{15} is then like that of the R_2 stable neurone. In addition, dopamine increases the membrane slope conductance between -65 and -45 mV. Normally, this conductance is very low -0.15 to 0.4 nA/mV, whereas for membrane polarizations exceeding 70 mV, the slope conductance is 2 nA/mV. This change in membrane conductance is known as anomalous rectification (Tauc & Kandel, 1964) and in R_{15} , the change of slope occurs at -65 mV. By adding dopamine, the conductance between -65 and -45 mV greatly increases to $0.7-1.5$ nA/mV, while the conductance in hyperpolarization (-75 mV) is not changed (Fig. 4A and 5). The anomalous rectification ratio, defined as the ratio of the conductance above and under -65 mV, thus falls from $6-10$ to $1.5-2$. In presence of dopamine, the intersections of both i (V) characteristics with the $i = 0$ axis are between -60 and -65 mV, i.e. more negative than the threshold of spikes (-40 mV) and therefore these points correspond to conditions of electrical stability.

The characteristics were also determined before and during ILD (either spontaneous or obtained by repetitive stimulation of the left connective). During the hyperpolarizing phase, the i (V) characteristics are changed in a way similar to that of dopamine effects (Fig. 4B): decrease and very often loss of the negative resistance, disappearance of the anomalous rectification and of the current hysteresis.

DISCUSSION

In the model previously proposed for the explanation of slow potential waves (Gola, 1974 a), two phenomena were considered essential.

(1) A local negative resistance in quasi-steady conditions; a N-shaped i (V) characteristic actually induces potential instability and well accounts for the depolarizing phase of slow waves. Such characteristics, of the tunnel-diode type, have been described in normally or experimentally induced bursting neurones (Gola, 1974 a, b; 1975; Wilson & Wachtel, 1974; Gola & Boisson, 1974; Eckert & Lux, 1975; Smith, Barker & Gainer, 1975; Ducreux & Gola, 1975).

(2) Current hysteresis with regard to the sign of the potential ramp.

The abolition of waves by dopamine or during an ILD, are due to the disappearance of the above conditions. On the other hand, the general increase of the membrane conductance (for potentials less negative than -65 mV) leads to hyperpolarization and stoppage of spiking.

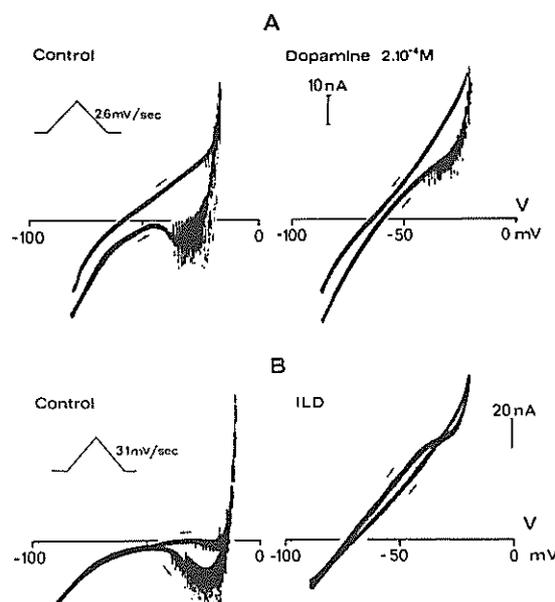


Fig. 4. i - V characteristics in presence of dopamine $2 \cdot 10^{-4}$ M (A) and during ILD (B) (inset: voltage programme-sweeping direction indicated by small arrows). Both dopamine and ILD reduce negative resistance, current hysteresis and anomalous rectification.

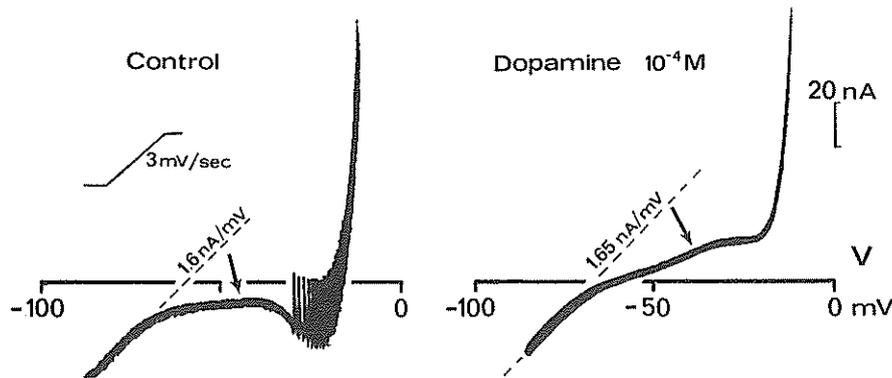


Fig. 5. Reduction of anomalous rectification with dopamine. Upon addition of dopamine (10^{-4} M) the slope conductance increases for potentials less negative than -65 mV. The anomalous rectification ratio is 9.2 in control and 2.5 with dopamine (inset: voltage programme).

It is generally agreed that the slow inward current at the origin of the negative resistance is mainly carried by Na^+ or Ca^+ ions (Smith *et al.*, 1975; Eckert & Lux, 1975) or both (Gola, 1975). It has also been suggested that the N-shaped characteristic could be the result of depolarizing K-inactivation (Grundfest, 1972; Gola, 1974 b). The different mechanisms involved in the steady negative resistance become efficient only when anomalous rectification exists. The latter puts the membrane in a state of very weak conductance (0.15–0.4 nA/mV) for potentials between -45 and -65 mV, thus making it possible for the slow ionic systems to be efficient. The importance of anomalous rectification in the genesis of slow waves has been stressed by Klee & Faber (1974), and in general, any induction of slow waves is accompanied by an increase in the anomalous rectification ratio (Gainer, 1972; Barker & Gainer, 1974, 1975; Wilson & Wachtel, 1974; Ducreux & Gola, 1975). It has been assumed (Gola, 1972; 1975) that anomalous rectification is due to a change in the steady state level of a potassium conductance $g_{K(s)}$ (Gola & Romey, 1971) or $g_{(A)}$ (Connor & Stevens, 1971; Neher, 1971) which can be activated from -50 mV. The change in slope conductance around -65 mV was interpreted through the effects of the inactivation function (analogous to the h function of Hodgkin & Huxley) on the steady $g_{K(s)}$. It seems then likely that dopamine increases the membrane conductance only from -65 mV by the removal of inactivation due to the h -like function of $g_{K(s)}$. Such removal of inactivation, causing the anomalous rectification ratio to tend towards 1, is a shunt for the slow systems involved in the negative resistance. As stated above, a part of the negative resistance would be due to depolarizing inactivation of delayed g_K (as for $g_{K(s)}$). In that case, the removal of inactivation of the second K conductance with dopamine or during ILD, would be a second factor taking part in the electrical stabilization of the membrane.

One last point concerns the analogy of action between dopamine and the substance apt to originate ILD's. The hypothesis that dopamine is the transmitter responsible for ILD was proposed by Kerkut, Horn & Walker (1969) and by Walker, Ralph, Woodruff & Kerkut (1971), for the neurones of *Helix*. These

authors founded their hypothesis on the hyperpolarizing effect of this catecholamine, on the increase of g_K in dopaminergic hyperpolarization and during ILD's and lastly on the antagonistic effect of ergometrine in these two phenomena. More recently, Ascher (1972) has questioned the intervention of dopamine in the ILD's observed in R_{15} neurone of *Aplysia californica* (see review by Gerschenfeld, 1973, for the chemical transmission in invertebrates). The present observations emphasize the fact that the substance originating ILD's must both make R_{15} similar to a stable neurone and alter its $i(V)$ characteristic in the way stated above. In addition to its hyperpolarizing property, dopamine possesses both features emphasized above, a finding which strongly supports the hypothesis that it is the transmitting agent responsible for ILD.

REFERENCES

- ARVANITAKI A. & CHALAZONITIS N. (1958) Configurations modales de l'activité propres à différents neurones d'un même centre. *J. Physiol., Paris* **50**, 122–125.
- ARVANITAKI A. & CHALAZONITIS N. (1965) Interactions entre onde lente du potentiel de la membrane neuronique et potentiels post-synaptiques d'excitation (neurone branchial d'*Aplysia*). *C.r. hebd. Séanc. Soc. Biol.* **159**, 1783–1787.
- ASCHER P. (1972) Inhibitory and excitatory effects of dopamine on *Aplysia* neurones. *J. Physiol., Lond.* **225**, 173–209.
- BARKER J. L. & GAINER H. (1974) Peptide regulation of bursting pacemaker activity in a molluscan neurosecretory cell. *Science, N.Y.* **184**, 1371–1373.
- BARKER J. L. & GAINER H. (1975) Studies on bursting pacemaker potential activity in molluscan neurones. II. Regulation by divalent cations. *Brain Res.* **84**, 479–500.
- BOISSON M. (1973) Variations distinctes de l'oscillabilité consécutive à l'hyperpolarisation de quelques neurones géants sécrétoires, par la noradrénaline. *Aplysia depilans L.* (1767), *fasciata*, Poiret (1790) et *rosea*, Rathké (1799). Thèse IIIe cycle. Océanographie biologique. Université de Paris VI.
- BOISSON M. & CHALAZONITIS N. (1972) Abolition by noradrenaline of the waving bursting neuronal activity (*Br* neurone of *Aplysia fasciata*). *Comp. Biochem. Physiol.* **41A**, 883–885.
- CHALAZONITIS N. (1962) Inhibition thermique des ondes électriques lentes d'un neurone géant identifiable (Neur-

- one Br d'*Aplysia fasciata*). *C.r. hebd. Séanc Acad. Sci., Paris* 255, 1652-1653.
- CONNOR J. A. & STEVENS C. F. (1971) Voltage clamp studies of a transient outward membrane current in gastropod neural somata. *J. Physiol., Lond.* 313, 21-30.
- DUCREUX C. & CHALAZONITIS N. (1971) Stabilisation par la dopamine de l'oscillabilité normale d'une neuromembrane type (soma neuronique à ondes-salves: *Aplysia* et *Helix*). *C.r. hebd. Séanc. Soc. Biol.* 165, 1350-1353.
- DUCREUX C. & GOLA M. (1975) Ondes paroxysmales induites par le métrazol (PTZ) sur les neurones d'*Helix p.* Modèle fonctionnel. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 361, 43-53.
- ECKERT R. & LUX H. D. (1975) A non-inactivating inward current recorded during small depolarizing voltage steps in snail pacemaker neurons. *Brain Res.* 83, 486-489.
- FRAZIER W., KANDEL E., KUPFERMANN I., WAZIRI R. & COGGESHALL R. (1967) Morphological and functional properties of identified neurons in the abdominal ganglion of *Aplysia*. *J. Neurophysiol.* 30, 1288-1351.
- GAINER H. (1972) Electrophysiological behavior of an endogenously active neurosecretory cell. *Brain Res.* 39, 403-418.
- GERSCHEFELD H. M. (1973) Chemical transmission in invertebrate central nervous systems and neuromuscular junctions. *Physiol. Rev.* 53, 1-119.
- GOLA M. (1972) La conductance potassique des neurones d'*Helix* en relation avec la rectification anormale. *C.r. hebd. Séanc. Acad. Sci., Paris* 274, 1579-1582.
- GOLA M. (1974a) Neurones à ondes-salves des mollusques. Variations cycliques lentes des conductances ioniques. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 352, 17-36.
- GOLA M. (1974b) Variations cycliques des conductances sodique et potassique dans les neurones à ondes-salves de mollusques. *J. Physiol., Paris* 69, 198 A.
- GOLA M. (1976) Electrical properties of bursting pacemaker neurones. In *Symposium on Snail Brain* (Edited by SALANKI J.) *Hung. Acad. Sci.* (In press).
- GOLA M. & BOISSON M. (1974) Ondes salves induites par des catécholamines sur un neurone sécrétoire d'*Aplysia*: étude en voltage imposé. *J. Physiol., Paris* 69, 154 A.
- GOLA M. & ROMÉY G. (1971) Réponses anormales à des courants sous-limaires de certaines membranes somatiques (neurones géants d'*Helix pomatia*). Analyse par la méthode du voltage imposé. *Pflügers Arch. ges. Physiol.* 327, 105-131.
- GRUNDFEST H. (1972) N-shaped characteristics in living membranes. In *Perspectives in Membrane Biophysics*. (Edited by AGIN D. P.), pp. 37-63. Gordon & Breach, N.Y.
- JAHAN-PARVAR M. & VON BAUMGARTEN R. (1969) Activation of neurosecretory cells in *Aplysia* by osphradial stimulation. *Am. J. Physiol.* 215, 1246-1257.
- KERKUT G. A., HORN N. & WALKER R. J. (1969) Long lasting synaptic inhibition and its transmitter in the snail *Helix aspersa*. *Comp. Biochem. Physiol.* 30, 1061-1074.
- KLEE M. R. & FABER D. S. (1974) Endogenous mechanism underlying membrane potential oscillations in bursting *Aplysia* neurones. In *Central-Rhythmic and Regulation* (Edited by UMBACH W. & KOEPECHEN H. P.) pp. 58-68, Hippokrates-Verlag, Stuttgart.
- NEHER E. (1971) Two fast transient current components during voltage clamp on snail neurons. *J. gen. Physiol.* 58, 36-53.
- PARNAS I., ARMSTRONG D. & STRUMWASSER F. (1974) Prolonged excitatory and inhibitory synaptic modulation of a bursting pacemaker neuron. *J. Neurophysiol.* 37, 594-608.
- SMITH T. G., BARKER J. L. & GAINER H. (1975) Requirements for bursting pacemaker potential activity in molluscan neurons. *Nature, Lond.* 253, 450-452.
- TAUC L. (1960) Evidence of synaptic inhibitory actions not conveyed by inhibitory post-synaptic potentials. In *Inhibition in the Nervous System and Gamma-Aminobutyric Acid* (Edited by ROBERTS E.), pp. 85-89. Pergamon Press, Oxford.
- TAUC L. & KANDEL E. R. (1964) Anomalous form of rectification in a molluscan neuron. *Nature, Lond.* 202, 1339-1341.
- WALKER R. J., RALPH K. L., WOODRUFF G. W. & KERKUT G. A. (1971) Evidence for a dopamine inhibitory post-synaptic potential in the brain of *Helix aspersa*. *Comp. gen. Pharmac.* 2, 5-25.
- WILSON W. A. & WACHTEL H. (1974) Negative resistance characteristic essential for the maintenance of slow oscillations in bursting neurons. *Science, N.Y.* 186, 932-934.

Dual Effects of Catecholamines on Burst Production by Aplysia Neurons

M. Boisson and *M. Gola

*Centre Scientifique de Monaco, Principauté de Monaco; and *Institut de Neuro-
physiologie et Psychophysiologie, C.N.R.S., Marseilles, France*

One of the most original properties of molluscan neurons is their ability to convert from one type of activity to another in response to various physical or chemical alterations of environmental conditions. For instance, regularly firing or even silent neurons can be converted into oscillatory or bursting neurons; conversely, bursting neurons can be converted into silent neurons (8). Such changes of the electrical activity of molluscan cells have been observed following either slight changes in the ambient physical conditions [temperature (6), PO_2 (10), light (7)] or on addition of artificial or naturally occurring substances [metrazol or PTZ (9), cycloheximide (11), low Ca^{2+} (2), peptides (3,21)].

The type of conversion depends on the nature of the experimentally altered factor as well as on the properties of the target cell. For instance, moderate warming (from 20 to 25°C) converts the regularly firing L_{11} cell of Aplysia into a bursting cell (1) but not the other identified Aplysia neurons. Metrazol has been found particularly efficient in inducing high frequency discharges in normally regularly firing cells (13); visible light can convert firing cells into silent cells and vice versa (7).

In this chapter, we present two opposite conversions of electrical activity of Aplysia into a bursting cell (1) but not the other identified Aplysia neurons, same neurogenic substances (catecholamines). The conversions were: (a) a silent cell into a bursting cell (cell R_{14} of Aplysia) (4a,16), and (b) a bursting cell into a silent cell (cell R_{15} of Aplysia) (4,5,12).

The catecholamines were dopamine (DA), epinephrine, and norepinephrine. The overall effects of all were similar, but at different concentrations; the following results are restricted to the effects of DA.

STABILIZING EFFECT OF CATECHOLAMINES ON BURSTING NEURONS

The addition of DA (10^{-3} to 10^{-4} M) to artificial seawater induced two reversible effects in R_{15} bursting cells of Aplysia (4): (a) The membrane

CATECHOLAMINES AND BURSTING

potential slowly increased (up to 15 mV) over the course of 30 to 100 sec, resulting in the cessation of the spike discharge (Fig. 1A). (b) The modal activity was thoroughly changed, as can be observed with a constant outward current injected 120 sec after the drug addition; the depolarization caused by the current led to a phasic type response, and no more bursts of spikes were observed, whatever the current intensity might be (Fig. 1A₂). Thus in the presence of DA, R₁₅ became hypoexcitable and behaved like a stable neuron.

The membrane characteristics of normal or DA-treated R₁₅ were determined with slow ramp pulses applied to the membrane in voltage-clamp conditions (15). In a typical experiment, the membrane was previously hyperpolarized (at -70 to -90 mV) by a constant inward current; the current-voltage relationships were then obtained with a slow depolarizing ramp followed by a symmetrical repolarizing ramp. The amplitude of the command potential ramps was from 60 to 80 mV and the slope of the ramp pulses was from 1 to 5 mV/sec.

With this method, it has been possible (15) to demonstrate the existence

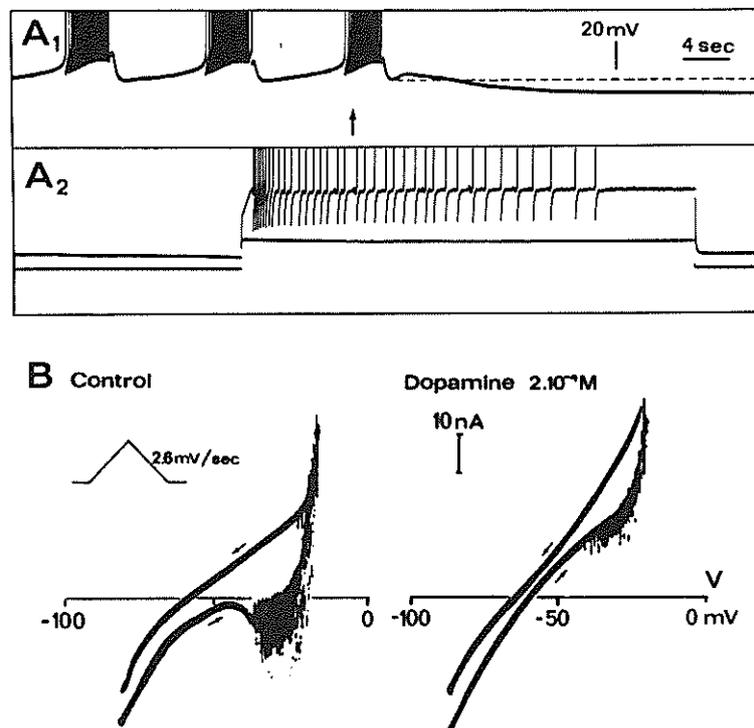


FIG. 1. Stabilization of R₁₅ bursting neurons by catecholamines. **A₁**: Abolition of bursts and hyperpolarization of an R₁₅ neuron induced by 5×10^{-4} M DA (added at arrow). **A₂**: Phasicotonic firing of a DA-treated R₁₅ neuron in response to an outward current (*lower trace*). **B**: Current-voltage relationships in normal and DA-treated R₁₅ neurons. The curves were obtained in voltage-clamp conditions with the slow ramp pulses shown in inset (slope, 2.6 mV/sec). Outward currents are upward and the horizontal line is the zero current level. Changes in potential (starting from the left) are indicated by the small arrows.

CATECHOLAMINES AND BURSTING

of two features essential for the genesis of the slow potential waves underlying the bursting activity of R_{15} . The first is a region of negative slope in the current-voltage relationship (I-V curve) obtained with the depolarizing pulse; the second is a hysteresis of the current, linked to the sweeping direction (Fig. 1B).

On each I-V curve, an operating point, defined by the intersection of the $I = 0$ axis, corresponds to the curve; for the membrane initially hyperpolarized, the operating point is at -16 ± 5 mV, and for the membrane initially depolarized this point is at -56 ± 4 mV. Thus membrane hyperpolarization (either passive or active) leads to depolarizing processes, whereas its depolarization induces processes causal to membrane potential increase. On that basis, the slow potential changes underlying bursting activity can be interpreted as due to the slow transition between the two current-voltage curves obtained from a depolarized state or from a hyperpolarized state (15).

The I-V curves of R_{15} were drawn as indicated above, during normal bursting activity and in the hyperpolarization phase following the addition of DA (0.5 to 1 μ M/ml). The most immediate effects of DA were the important decrease and sometimes the disappearance of both the negative slope region of the current-voltage curves and of the current hysteresis (Fig. 1B).

Thus DA has suppressed the two conditions we considered essential for the genesis of the slow waves of potential. It is not surprising that the membrane characteristics of a DA-treated R_{15} are then like those of the R_2 stable neuron.

In addition, DA increases the membrane slope conductance between -65 and -45 mV. Normally, this conductance is very low (0.15 to 0.4 nA/mV), whereas for membrane polarizations exceeding 70 mV, the slope conductance increases up to 2 nA/mV. This change in membrane conductance is known as anomalous rectification (17); in R_{15} , the change of slope occurs at -65 mV. By adding DA, the conductance between -65 and -45 mV greatly increased to 0.7 to 1.5 nA/mV, while the conductance in hyperpolarization was not changed. Consequently, the anomalous rectification ratio, defined as the ratio of the conductance above and below -65 mV, fell from 6 to 10 to 1.5 to 2. In the presence of DA, the intersections of both I-V curves with the $I = 0$ axis were between -60 and -65 mV, i.e., more negative than the threshold of spikes (-40 mV); therefore, these points correspond to conditions of electrical stability.

It is worth noting that the same conversion of electrical activity and of the current-voltage relationships were observed during the hyperpolarization phase of the well-known inhibition of long duration (ILD) triggered by repetitive stimulation of the left connective (5). ILDs have been assumed to be mediated by DA, which increases the potassium conductance of the membrane (22).

CATECHOLAMINES AND BURSTING

OSCILLOGENIC EFFECT OF CATECHOLAMINES ON SILENT NEURONS

This transformation mainly involves a secretory group of nerve cells, the white cells, in which the R_{14} neuron (or A') is the most representative cell.

When incubated in artificial seawater containing $1 \mu\text{M/ml}$ DA, R_{14} hyperpolarized by 18 mV in 10 to 20 sec (Fig. 2). Being normally silent, this neuron became hypoexcitable after such a hyperpolarization. In addition to its hyperpolarizing properties, however, DA (as well as the other catecholamines) had a more specific and remarkable action on R_{14} . In response to a suprathreshold depolarizing direct current, the DA-treated secretory neurons displayed a bursting activity (Fig. 2C) instead of the normal adaptive discharge (Fig. 2A) (4a).

The membrane characteristics of DA-treated R_{14} neurons were determined with the same voltage-clamp method as used for the study of the R_{15} bursting cells. Figure 3 shows that the two features we considered essential for the slow wave generations in R_{15} are then present, i.e., a quasisteady state negative slope conductance (when the ramp is depolarizing) and a current hysteresis. By comparing Fig. 3B and Fig 1B, it can be seen that the current-voltage relationships of DA-treated R_{14} look like those of R_{15} (except that the negative slope part of the current-voltage relationship of R_{14} was not entirely contained in the inward current region).

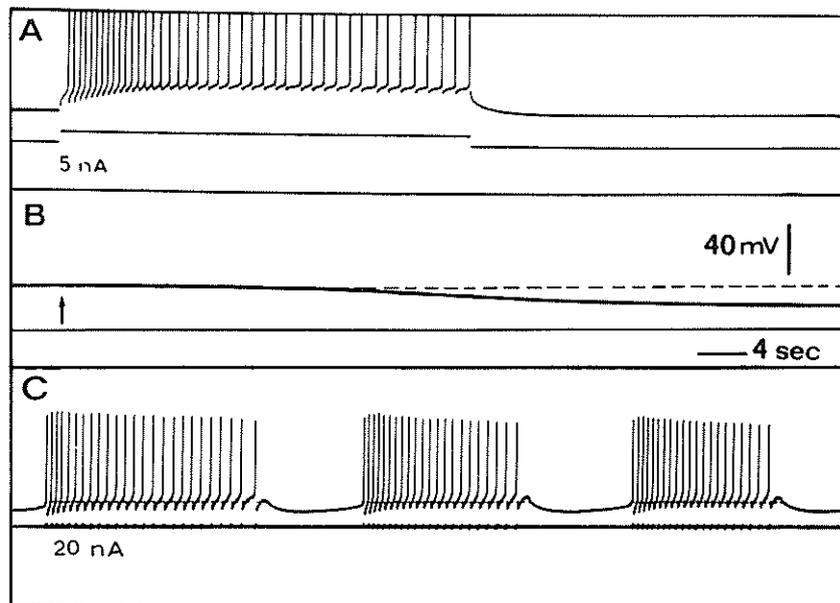


FIG. 2. Bursting activity induced by DA in an R_{14} neuron of Aplysia. **A:** Adaptive discharge induced by a step of outward current in an R_{14} cell bathed in normal saline. **B:** Addition of 2×10^{-4} M DA (arrow) hyperpolarizes the cell. **C:** DA-treated R_{14} neuron; regular bursting activity obtained with a constant outward current (in order to compensate the hyperpolarization induced by DA). The bursts of spikes are superimposed on slow potential oscillations, as in normally bursting neurons.

CATECHOLAMINES AND BURSTING

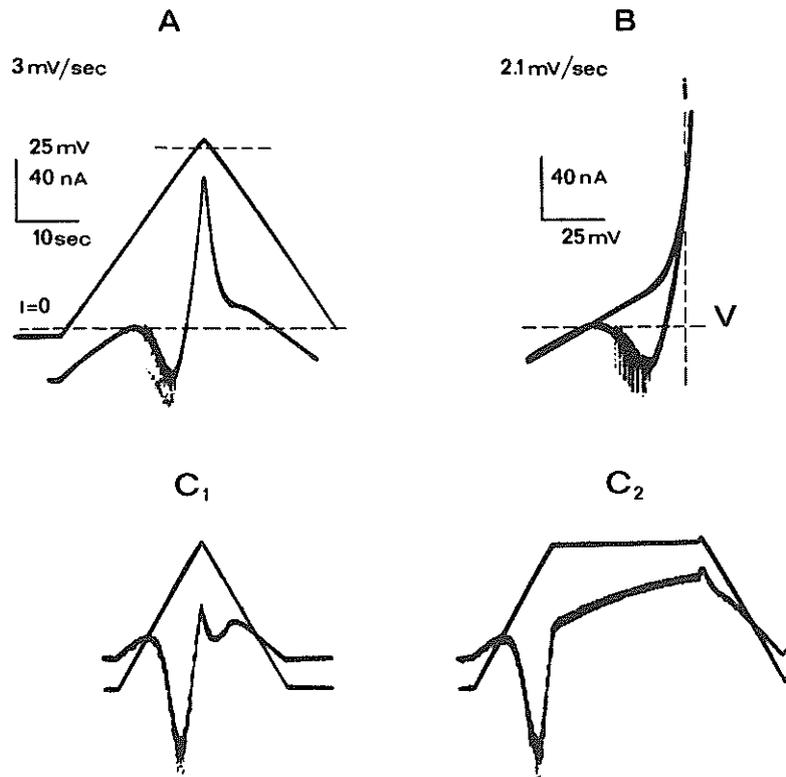


FIG. 3. N-shaped current-voltage relationships in DA-treated R_{14} neurons. **A:** Current-time record (*lower trace*) in response to slow depolarizing and repolarizing ramps (*upper trace*) applied in voltage-clamp conditions. The horizontal dashed lines are zero potential level (*top line*) and zero current level (indicated by $i = 0$). **B:** X-Y display of the current (*vertical*) and potential (*horizontal*) changes obtained as indicated in **A** (slope of the ramps, 2.1 mV/sec). The horizontal and vertical lines are, respectively, zero current and zero potential baselines. The current-voltage relationship is N-shaped with the depolarizing ramp and monotonous with the repolarizing ramp, as in R_{15} bursting neurons (compare with Fig. 1). **C:** Slow disappearance of the N-shape consecutive to depolarization. With the repolarizing ramps, the current trace is still N-shaped in **C₁** but not in **C₂**, where a slow outward current develops during the depolarization (same scale as in **A**).

By comparing the current-voltage relationships before and after the addition of catecholamines, it appeared that the catecholamines induced an outward current whose intensity increased upon depolarization. As can be seen in Fig. 4A, the DA-induced current is not linearly related to the membrane potential, as would be the case if DA affected merely the resting conductances of the membrane; the curve of the DA-induced current versus potential shows a threshold at about -40 mV and has a shape similar to that of the delayed potassium current-voltage curve. This would suggest that in R_{14} , DA exerts a direct activating effect on the delayed potassium conductance (Fig. 4B). Such direct controls by catecholamines of the processes involved in the generation of action potentials are well known in cardiac muscles (20) but have been only recently observed in the nervous system (18).

The reason for the specificity of catecholamines on R_{14} are as yet unknown

CATECHOLAMINES AND BURSTING

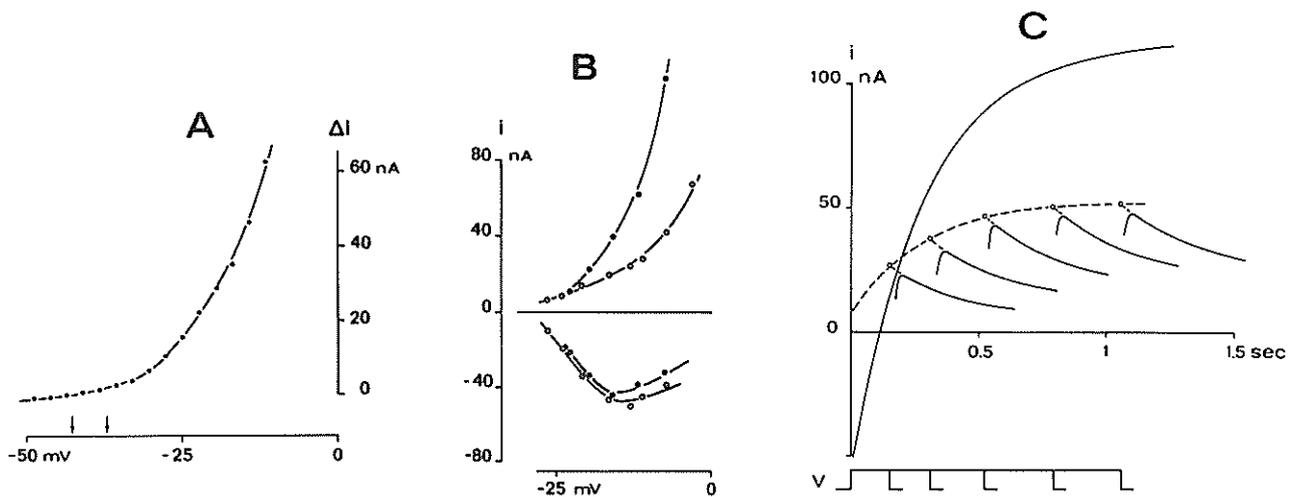


FIG. 4. **A:** DA-induced outward current in an R_{14} neuron, deduced by subtracting the I-V curves (obtained with slow depolarizing ramps) of DA-treated and normal R_{14} neurons. The two vertical arrows are the resting potentials in normal saline (*right-hand arrow*) and in the presence of DA (*left-hand arrow*). **B:** Persistent inward currents and delayed outward currents in normal R_{14} (*open circles*) and in the presence of DA (*filled circles*). The current was measured after 1 sec depolarization. DA affected mainly the outward delayed current, whereas the persistent inward current (Na) was only slightly reduced. **C:** Kinetics of the delayed outward current in R_{14} . *Upper curve*, delayed outward current (K-current) produced by a 1.2 sec step depolarization to 0 mV (holding potential, -40 mV); *Lower traces*, tail currents following pulses of increasing duration, as indicated in the bottom trace. The tail current slowly declines to zero with a time constant of 250 msec; *dashed curve*, outlines the time course of the increase of the initial tail current amplitude (*open circles*). The outward current grows exponentially with a time constant of 280 msec.

(and could eventually be related to its neurosecretory nature); but the overall result is a strong sharpening of the spike (duration reduced by 50 to 80%) due to both the hyperpolarization of the cell and the increase in the available potassium conductance (Fig. 5).

Other unusual membrane properties were observed in R_{14} ; some of them must play a role in the production of bursts upon the addition of catecholamines: (a) The delayed potassium channel is weak compared to the situation in the other molluscan cells, and its time course is much slower (time constant of activation from 120 to 250 msec instead of 20 to 40 msec) (see Fig. 4C). It is activated at potentials more positive than -25 mV and its reversal potential is between -50 and -55 mV. All these features account for the long duration of the spike (up to 70 msec). (b) A persistent Na current is activated at potentials more positive than -40 mV. Thus the steady state I-V relationship has a negative slope (with a peak at -15 mV), which very likely supports the tonic firing of the cell upon constant current injection. (c) A slow outward current (time constant of 10 to 25 sec) develops when the cell is depolarized (see Fig. 3C₂).

Another point must be emphasized concerning the mechanism of sustained slow oscillations and bursts production. As stated above, the nega-

CATECHOLAMINES AND BURSTING

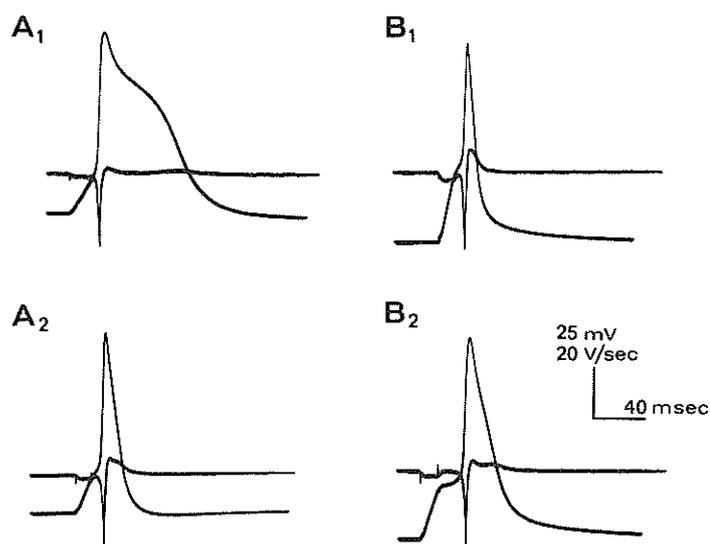


FIG. 5. Effects of DA on the action potentials of R_{14} . In each record, the second trace is the first derivative (inverted) of the potential. A_1, B_2 : Cell in normal saline. A_2, B_1 : Cell in the presence of DA. A_1, A_2 : Initial potential corresponding to the resting potential in control saline. B_1, B_2 : Initial potential corresponding to the resting potential in the presence of DA (hyperpolarized compared to series **A**). A_1 : Typical long-lasting action potential of R_{14} . B_1 : Following addition of 2×10^{-4} M DA, the cell is hyperpolarized and the spike is considerably sharpened with a fast repolarizing phase. A_2 : Hyperpolarization induced by DA was compensated by a constant outward current, but the spike remained shorter than in control saline. B_2 : After washing, the cell was maintained hyperpolarized at the level reached with DA (same level as in B_1). Nevertheless, the duration of the spike increased.

tive slope conductance exists before the addition of DA and is mainly due to a persistent Na current (plus a small Ca contribution) since it almost completely disappears with 10^{-5} M TTX and in O- Na^+ seawater. Thus the augmentation of the potassium conductance by DA must be a shunt for this inward current; indeed, the negative slope conductance region was reduced by DA. However, despite a well-pronounced quasisteady negative slope conductance, R_{14} does not work like a bursting cell but responds to a constant stimulus by a tonic discharge; despite the reduction of the negative slope by DA, however, the cell is then able to fire bursts of spikes (under the effect of a depolarizing current). This emphasizes that the slow potential wave generation requires a quantitative adjustment between the two features described in R_{15} (presented in more detail by Gola, elsewhere in this volume). This conclusion is reinforced by observing that higher concentrations of DA (or other catecholamines) failed to induce a bursting activity in R_{14} and in other related cells.

In conclusion, the stabilizing actions of catecholamines on bursting cells, as well as their oscillogenic effects on stable neurons, are operated by similar modifications affecting the potassium conductances of the membrane. Thus the slow potential oscillations underlying bursting activity can be generated only if the potassium conductance (and particularly its slow

CATECHOLAMINES AND BURSTING

component) has an optimum amplitude; reducing (normal R_{14}) or increasing (DA-treated R_{15}) the potassium component of the ionic conductances results in the stabilization of the cell. Such results are in agreement with the present ideas on the ionic mechanisms underlying the slow potential generation in bursting cells and in other related cells: the slow potential waves arise from the depolarizing tendency induced by persistent Na^+ - Ca^{2+} inward currents (14,15,19) and from the delayed counteraction played by a slow activation of a potassium conductance (15). If the second component of that system, the repolarizing potassium activation, is too large or too weak, then the cell will remain either hyperpolarized or depolarized.

REFERENCES

1. Arvanitaki, A. (1962): *C. R. Acad. Sci.*, 255:1523-1525.
2. Barker, J. L., and Gainer, H. (1974): *Brain Res.*, 65:516-520.
3. Barker, J. L., and Gainer, H. (1974): *Science*, 184:1371-1373.
4. Boisson, M., and Chalazonitis, N. (1972): *Comp. Biochem. Physiol.*, 41A:883-885.
- 4a. Boisson, M., and Chalazonitis, N. (1973): *C. R. Acad. Sci.*, 276:1025-1028.
5. Boisson, M., and Gola, M. (1976): *Comp. Biochem. Physiol.*, 54C:109-113.
6. Chalazonitis, N. (1961): *C. R. Acad. Sci.*, 255:1652-1653.
7. Chalazonitis, N. (1964): *Photochem. Photobiol.*, 3:539-549.
8. Chalazonitis, N. (1970): *J. Physiol.*, 73:441-452.
9. Chalazonitis, N., and Arvanitaki, A. (1973): In: *International Encyclopedia of Pharmacology and Therapeutics, Section 19: Anticonvulsant Drugs, Vol. 2*, edited by J. Mercier, pp. 401-424. Pergamon Press, Oxford.
10. Chalazonitis, N., Gola, M., and Arvanitaki, A. (1965): *C. R. Soc. Biol.*, 159:2451-2455.
11. Chalazonitis, N., and Morales, T. (1971): *C. R. Soc. Biol.*, 165:1923-1928.
12. Ducreux, C., and Chalazonitis, N. (1971): *C. R. Soc. Biol.*, 165:1350-1353.
13. Ducreux, C., and Gola, M. (1975): *Pfluegers Arch.*, 361:43-53.
14. Eckert, R., and Lux, H. D. (1975): *Brain Res.*, 83:486-489.
15. Gola, M. (1974): *Pfluegers Arch.*, 352:17-36.
16. Gola, M., and Boisson, M. (1974): *J. Physiol. (Paris)*, 69:154A.
17. Kandel, E. R., and Tauc, L. (1966): *J. Physiol. (Lond.)*, 183:287-304.
18. Koketsu, K., and Minota, S. (1975): *Experientia*, 31:822-823.
19. Smith, T. G., Barker, J. L., and Gainer, H. (1975): *Nature*, 253:450-452.
20. Trautwein, N. (1973): *Physiol. Rev.*, 53:798.
21. Treistman, S. N., and Levitan, I. B. (1974): *Nature*, 261:62-64.
22. Walker, R. J., Ralph, K. L., Woodruff, G. W., and Kerkut, G. A. (1971): *Comp. Gen. Pharmacol.*, 2:5-25.

Electroshock Afterdischarges Are Related to Neuronal Oscillability: Neuronal Models of *Aplysia*

N. CHALAZONITIS, M. BOISSON, D. ROME-TALBOT and R. CHAGNEUX

Laboratoires du Centre Scientifique de Monaco (Monaco) et de l'Institut de Neurophysiologie et Psychophysiologie, CNRS, Marseille (France)

(Accepted March 11th, 1982)

Key words: neuronal models — electroshock — afterdischarges — destabilization — oscillability

Identifiable giant neurons of *Aplysia* explored intracellularly behave differently at the offset of an intracellular electroshock (IES) or after a synaptic 'tetanization', according to their functional type: neurons of the stable type depolarize and fire at the offset of the IES, anodal or cathodal, thus eliciting an afterdischarge (AD). The threshold of this AD is lowered if the neuron is destabilized, i.e. converted from the stable to an oscillatory type (for instance by decalcification). Neurons normally of the tonic type are more sensitive to an IES, eliciting a longer afterdischarge than the stable neurons. Extracellular electroshock (EES) anodal or cathodal, applied directly on desheathed somata of *Helix* give long-lasting afterdischarges at the offset. In addition, EES stimulating pre-synaptic terminals or axons leads to a high frequency synaptic input on remote neurons. At the offset of this input either prolonged synaptic afterdischarges or postsynaptic rebounds of the membrane potential sustaining bursts of decreasing amplitude denote apparent oscillatory properties of the synaptically activated neuron. Finally, any conversion by convulsants of tonic neurons to oscillators highly facilitates the elicitation of afterdischarges of axons simultaneous to paroxysmal depolarization shifts of the homologous somata. These results indicate that afterdischarge elicitation is highly facilitated (low threshold) in normal oscillatory neurons and/or chemically destabilized neurons.

INTRODUCTION

It is well known that extracellular electroshock applied as a focal stimulation on the mammalian cortex induces neuronal afterdischarges associated with seizures.

Furthermore repetitive electroshocks may produce increasingly long and widely spread afterdischarges developing into major motor seizures; this phenomenon has been termed 'kindling'.

Afterdischarges (AD) were first detected in electroencephalograms (EEG) during seizures. One or two seconds after the offset of stimulation the EEG displays a self-sustained AD. First low-voltage oscillations occur (tonic stage). Then the amplitude of these oscillations progressively increases whereas their frequency decreases (clonic stage). Finally these oscillations stop altogether and are followed by a marked depression (post-ictal stage)¹.

The afterdischarges recorded in the EEG were attributed to a variable number of neurons²³ acti-

vated by extracellular stimulation. This population of neurons was proportional to the strength and duration of the stimuli. Furthermore some of the neuronal populations in different areas of the CNS or in different animals were more sensitive than others in their capacity to elicit these afterdischarges^{1,12,15,25,26,29}.

The need to investigate the 'self-sustained' afterdischarge leading to seizures at the level of the single neuron became evident. The production of a single neuron afterdischarge requires a 'threshold' intensity-duration-train of pulses composed by repetitive stimuli, each train being of a minimum duration¹⁶.

Several types of focal stimulation-recording were adopted. Either the focal stimulation was associated with proximal recording or the recordings were made in neurons synaptically activated by others located heterotopically on which the 'tetanic' stimulations were directly applied. The afterdischarges obtained were generally due to a long-lasting depolarization occurring at the offset of the electroshock

which elicited or enhanced the repetitive firing of the neuron. If depolarization was excessive, the amplitude of the action potentials was decreased¹⁶. Nevertheless at the offset of electroshock spontaneous repolarization of the neuron occurred. The firing was maintained until the repolarization was sufficient to stop the AD of the cell.

On the other hand, by submitting the explored neuron to a synaptic bombardment, by direct stimulation of remote neurons, an AD was produced at the offset, and in most cases this AD was composed of repetitive bursts^{12,27,30}.

In the present communication answers to the following questions will be attempted.

First, what are the changes in membrane potential and membrane resistance of a neuron during a strong electrical stimulation (i.e. electroshock) that is able to elicit afterdischarges? Second, what happens at the offset of the electroshock? Third, is the elicited afterdischarge equivalent in different functional types of neurons (i.e. stable, tonic and bursting), or are there differences? Fourth, what is the main electrical property required for a maximum afterdischarge elicitation? Fifth, are all types of neurons capable of eliciting afterdischarges with or without bursts after a synaptic bombardment?

It must be kept in mind that electroshock after-effects might be not only afterdischarges, but also after-depressions. These depressions or post-electroshock long-lasting hyperpolarizations elicited postsynaptically, will be described in another paper.

Taking advantage of the easier electrical exploration of *Aplysia's* identifiable neurons, somatic transmembrane electroshocks of parameters comparable to those used to elicit afterdischarges in brain cells have been used in the present study.

MATERIALS AND METHODS

The well known presence of identifiable neurons^{3,8,14} in *Aplysia* visceral ganglion has offered the possibility to apply electroshocks directly through their somatic membrane while recording their electrical behaviour. The identifiable cells chosen are representative of the 3 main electrical types of neurons: the silent or stable giant neuron A (or R₂); the tonically autoactive 'gen' type of cells (or L₁₁, or L₈, etc.) and the normally bursting Br (or R₁₅) cell.

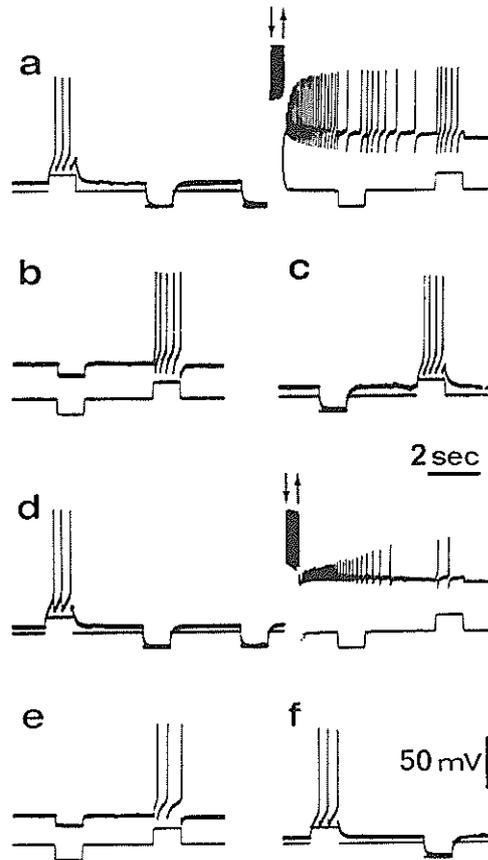


Fig. 1. Stable neuron A (R₂) of *Aplysia*: after discharge at the offset of an electroshock. In all recordings the upper trace is the membrane potential, the lower trace, pulses of injected current. a: before the electroshock, negative and positive transmembrane current pulses, reciprocally test the excitability and the membrane resistance. Arrows: incidence of a 0.5 s duration cathodal electroshock. At the offset an afterdischarge occurs and a fast recovery of 50% of the action potential amplitude, 0.2 s after the offset of the electroshock. b: 30 s later, recovery of the membrane potential (MP) and resistance (R_m) (50% of their initial value). c: full recovery of MP and R_m 10 min later. d: same neuron after full recovery. Arrows: incidence of an anodal electroshock. The afterdischarge is composed of axonal spikes, recovering fast. e: half recovery of MP and R_m 20 s later. f: total recovery of MP and R_m, some minutes later. Comparing (a) and (d) recordings, it is evident that the alteration of the soma is higher at the offset of an anodal electroshock.

Recording and stimulation methods are conventional: two microelectrodes are inserted in a single neuron, one is used for current injection, the second for membrane potential recording. Sometimes spikes conducted along the axon of the explored soma, have been recorded extracellularly by electrodes positioned on the nerve containing the axon. A dozen at

least of each of the 3 types of identifiable cells have been explored, in ganglia isolated from *Aplysia depilans*.

The train of pulses, used in a typical electroshock had the following parameters: intensity and duration were 1 μA and 10 ms for each DC pulse, the frequency 50 Hz and the duration of the 'train' was 0.5 or 1 s. In the particular cases where the parameters of the electroshock were different, they will be specified.

If the intracellular electroshock offered an interesting analysis of the membrane electrical alterations, the extracellular electroshock has been undertaken on the single giant neuron from the snail, *Helix*, in order to clarify some aspects of the complex influences of the spread of extracellular current occurring when mammalian brain cells are stimulated by electroshock.

The experiments were conducted as follows: a stimulating electrode of 20 μm in diameter, filled with physiological saline was applied over the desheathed ganglion and precisely over a single neuron of about 200 μm in diameter, itself covered by some glia of a few μm thickness. The resistance of this stimulating electrode ranged between 1 and 2 $\text{M}\Omega$ and the passage of strong single pulses of current (5–10 μA intensity, 200 ms duration and 10 Hz each did not significantly alter the extracellular saline concentration. A second microelectrode of 1 μm tip, filled with 2.5 M KCl was inserted into the cell for recording the membrane potential³².

Only a fraction of the electroshock current-pulse entered the neuronal membrane, as most of the current leaked out of the neuron through the glial interspaces. For this reason the effective extracellular current-pulse was 10 times stronger here than the pulses of intracellular electroshock.

RESULTS

Intracellular electroshock

Long-lasting depolarization of the neuromembrane by electroshock

Whatever the polarity of the electroshock, cathodal (the anode inside the cell) or anodal (the reverse) recording during the electroshock is not satisfactory. The recordings are satisfactory for detailed analysis at the offset of the electroshock only. At the offset of

an electroshock, whether anodal or cathodal, all cells are almost completely depolarized. Their membrane potential (MP) and resistance (R_m) fall near zero (Fig. 1)¹⁰. Following the cessation of the electroshock the membrane starts repolarizing. During this auto-repolarization the cell displays an afterdischarge of spikes at high frequency. Their amplitudes are continuously increasing as the membrane potential and the membrane resistance recover. During this auto-repolarization the recovery of the action potential (AP) amplitude of the MP and of the R_m occur asymptotically with a variable time interval depending on the strength of the electroshock and on the type of neuron. Generally, the recovery occurs at 50% of the initial values first for the spike amplitude and then later for the MP and the R_m (Fig. 1). During this repolarizing phase the afterdischarge lasts as long as the cell MP remains around the firing level. A careful examination of the recordings shows that the afterdischarge does not always originate from the area of the somatic membrane, but very often from a proximal axonal area. In the latter case, the spikes are devoided of prepotentials, because the axonal rhythmogenic area is remote from the soma in which the discharge is recorded. Obviously these axonal spikes cannot invade the soma because of its excessive depolarization.

In conclusion, an afterdischarge is elicited during the long-lasting recovery of the membrane potential around its 'firing level'. Independent of the site of origin of the afterdischarge (somatic or axonal), its conduction to the synaptic junctions will ensure the activation of postsynaptic neurons. The conducted spikes of the afterdischarge fire at the highest frequency at the offset of the electroshock and this frequency decreases progressively during the afterdischarge. The behaviour of the target cells (postsynaptic neurons) depends on: (1) the frequency of the oncoming synaptic bombardment; and (2) on their functional type. How a conducted discharge is transmitted to the postsynaptic neurons will be further discussed apropos of axonal stimulation by extracellular electroshock.

High sensitivity (long firing) at the electroshock offset of the autoactive rather than of the silent neurons of the tonic nerve

The behaviour of the 'real neuronal oscillators' at

the offset of an electroshock will be omitted in this study because of their relative rarity in the mammalian cortex. By 'real neuronal oscillators' we mean autoactive neurons displaying bursts of endogenous origin^{5,6}. Comparison between silent neurons and autoactive neurons both of the tonic type only will be carried out because many neocortical cells belong to these two last types of neurons.

As has already been shown, a stable neuron always depolarizes to the electroshock currents whether anodal or cathodal. For identical electroshock train pulses applied either to silent or to autoactive tonic neurons, the depolarization seems to be more pronounced for the autoactive neuron than for the silent neuron of tonic type. Furthermore the tonic neurons, when firing at low frequency are obviously more depolarized than the silent tonic neurons under normal conditions.

On the other hand, the recovery time of the MP, Rm and consequently of the somatic, and/or axonal spike amplitude, is much longer for the autoactive tonic neurons than for the silent neurons (Fig. 2). In the case of autoactive neurons, the recovery of more than the half-amplitude of the spike makes possible its conduction (Fig. 2). Then the conducted afterdischarge by the axon lasts several minutes and finally the cell recovers its initial frequency.

The long-lasting afterdischarge of some *Aplysia* neurons may be analogous in some types of brain cells. For instance, the tonic type of thalamo-cortical neurons firing at low frequency with or without excitatory synaptic input has been demonstrated many times. In conclusion, it seems probable that the less stable a neuron is, the longer the duration of its afterdischarge.

Low threshold afterdischarges from destabilized neurons (in low Ca^{2+})

Destabilization means the conversion of a stable neuron (i.e. a neuron firing normally with an adaptative discharge) to an oscillatory one, firing mainly with bursts.

The A (or R₂) giant neuron of the *Aplysia californica* visceral ganglion, particularly in summer, is silent (normally hyperpolarized) and stable, i.e. is capable of eliciting an adaptative discharge. When a subthreshold cathodal electroshock is applied, even for many seconds in duration, the frequency of the

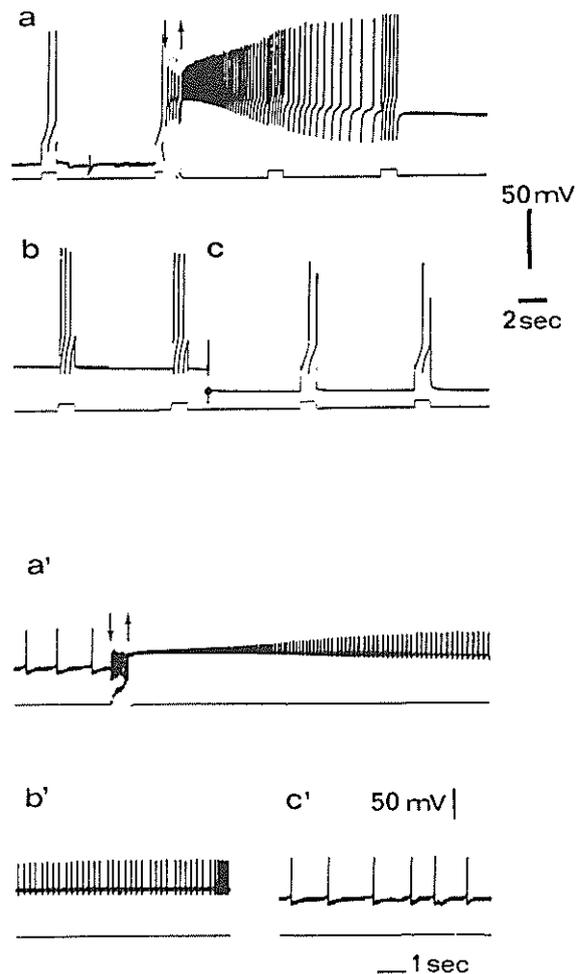


Fig. 2. Comparison of a short afterdischarge from a silent neuron and long afterdischarge from an autoactive tonic neuron. Upper trace: the membrane potential (MP). Lower trace: the injected current. Upper figure (a, b, c) — a: silent neuron, B cell (or L₈) of *Aplysia* tested for excitability by depolarizing pulses. Arrows: cathodal electroshock. Following the offset of the electroshock: half-recovery of the action potential at the 3rd second; total duration of the afterdischarge (axonal spikes) = 7 s. b: half-recovery (repolarization) of the MP, 50 s. c: total recovery of the MP, 10 min. Lower figure (a', b', c') — Gen group neuron (or L₈) tonic neuron of *Aplysia*. Arrows: cathodal electroshock, same as above. Following the offset of the electroshock: a': half-recovery of the action potential 9 s. b': persistence of the afterdischarge 120 s. Total duration of the afterdischarge = 7 min. c': full recovery of the initial frequency of the tonic activity approximately 12 min. Both neurons explored at 26 °C.

displacement of the somatic membrane potential by each stimulus is lower than the frequency of the pulses in the electroshock (Fig. 3). The action poten-

tials conducted by the axon of the A or R₂ neuron (recorded on the nerve with extracellular electrodes placed 15–20 mm away from the soma) are displayed in a train of spikes of the same frequency as that of the somatic MP displacements. It seems that these conducted axonal spikes are produced in an axonal area proximal to the soma (Fig. 3).

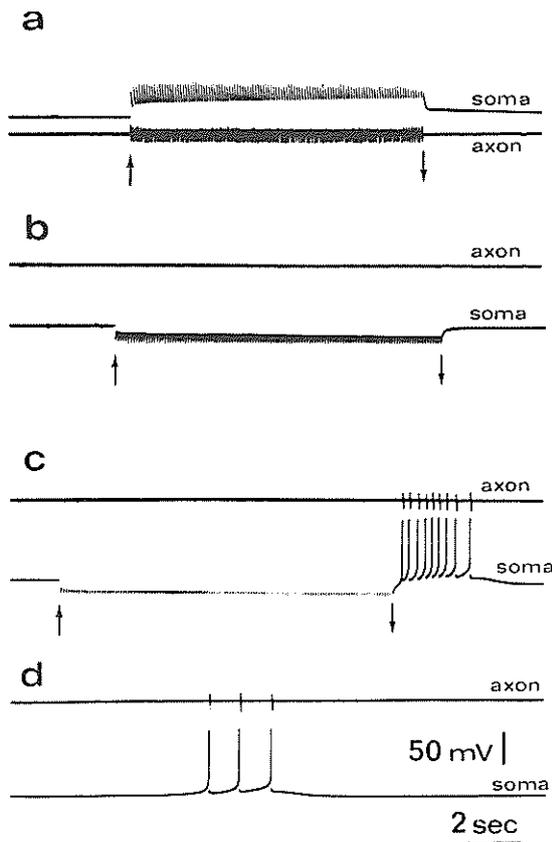


Fig. 3. Electroshock afterdischarges elicited after destabilization of a neuron (A or R₂ of *Aplysia*), normally stable and silent. a and b: silent neuron under normal conditions. Upper trace: displacements of the somatic membrane potential during a subthreshold cathodal electroshock (ES); intensity 10 times less than the standard intensity. Arrows: duration of ES. Lower trace: simultaneously conducted discharge through the axon of the same neuron (extracellular recording on the nerve) but no afterdischarge at the offset. b: lower trace: arrows = anodal ES on the same neuron. Upper trace: extracellular recording on the nerve devoided of conducted axonal spikes, during and after the anodal ES. c and d: same neuron destabilized (during 1 h in saline lacking of calcium and magnesium). c: lower trace recording in the soma. At the offset of an anodal ES a depolarizing rebound elicits an afterdischarge which is conducted through the axon of the same neuron (upper recording on the efferent nerve). d: spontaneous periodical bursts displayed by the same neuron after a long decalcification (1 h later).

On the other hand, the same 'anodal' electroshock does not produce any conducted axonal discharge either during its application, or at its offset (Fig. 3). The after-electroshock rebound of depolarization does not reach the threshold level and the soma remains silent. However, when the A (or R₂) soma is 'decalcified' by replacing normal sea water with sea water lacking calcium (the latter being replaced with sodium), for one hour prior to the application of the electroshock, the following behaviour is elicited: (1) during the cathodal electroshock, no substantial change occurs compared to the normal sea water conditions, i.e. the cell fires during the electroshock and remains silent at the offset; (2) however, upon the anodal electroshock a marked afterdischarge is elicited at the offset. The origin of such an afterdischarge is due to a depolarizing rebound of the membrane following the anodal electroshock and lasts for many seconds. As is well established, the decalcification²² not only depolarizes but also destabilizes the membrane of the A or R₂ soma which may then display spontaneous bursts activity (Fig. 3). Therefore the more a soma is destabilized, i.e. evolves into an oscillatory type of neuron, the more the afterdischarge will be pronounced and vice versa.

Extracellular electroshock on single neurons from the snail, Helix

Afterdischarges at the offset of an electroshock applied directly on a desheathed soma have been achieved

The overall results were extremely variable according to the functional type of cell recorded from, i.e. stable, tonic or bursting. This variability could also be due to indirect effects, such as stimulation of the presynaptic terminals, leading to postsynaptic activation of the explored cell itself.

In order to simplify the electrographic exploration by extracellular electroshock, a single pulse of current was applied.

The cells which elicited long-lasting afterdischarges were of the rhythmic type endowed with tonic autoactivity.

In the Fig. 4 two types of behaviour at the offset of the electroshock have been recorded: first, following a cathodal shock (the anode was placed on the apical pole of the soma) a depolarization of the

membrane occurs and decreases progressively as the cell repolarizes. During the phase of repolarization the tonic cell displays an autoactivity of high frequency which lasts 1 or 2 min, until recovery of the

MP to its initial value; second, after an anodal shock on the neuron the afterdischarge is produced by an immediate depolarizing rebound of the MP occurring at the offset of the electroshock. In that

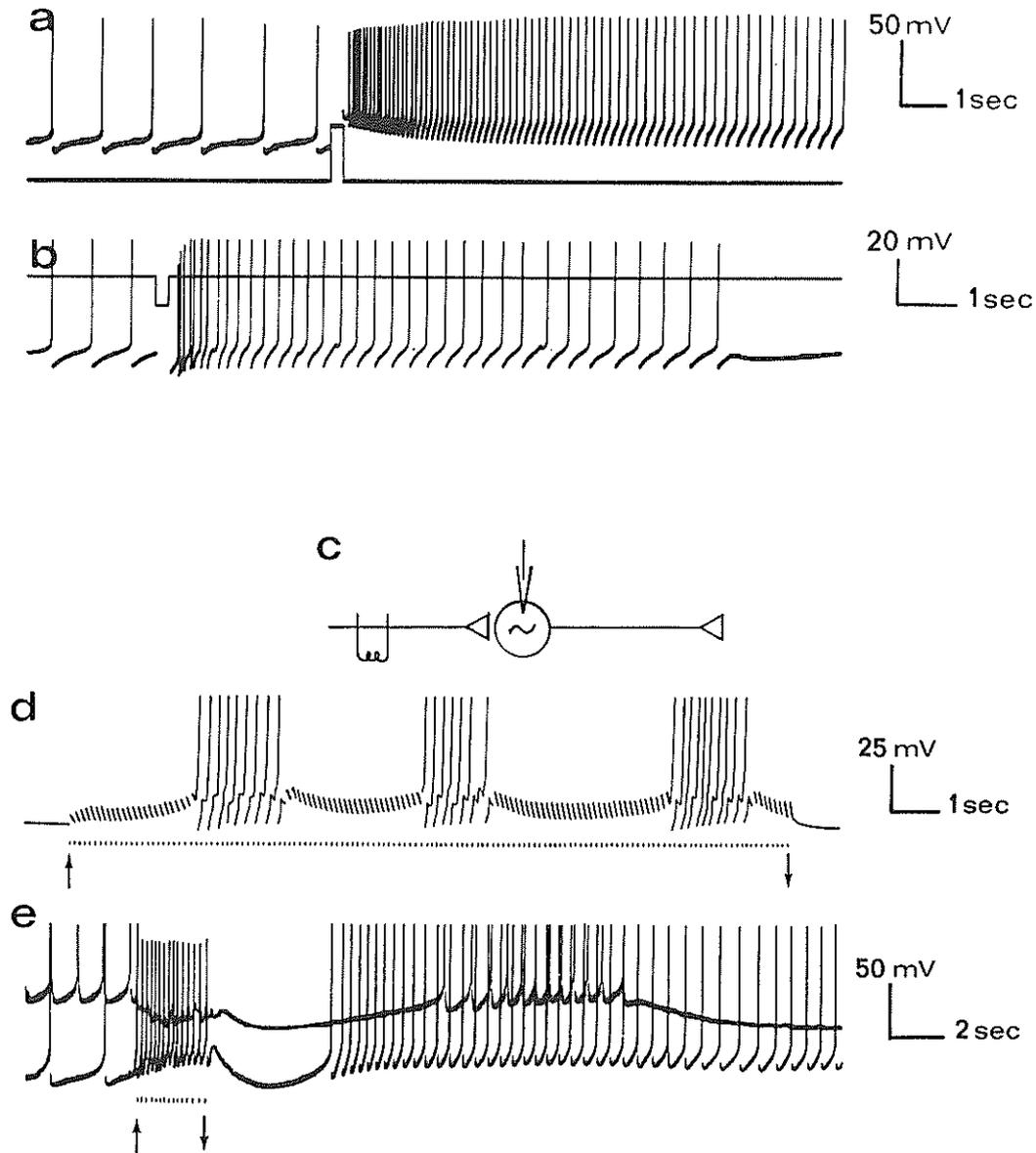


Fig. 4. Extracellular electroshock (EES) on desheathed *Helix* neurons. a and b: two autoactive normal tonic neurons. a: cathodal single-pulse EES of 0.2 s duration and 7 μ A intensity. The duration of the afterdischarge is of about 30 s. b: single-pulse anodal EES of 0.2 duration and 12 μ A intensity elicits some repetitive afterdischarges of about 10 s duration. c: extracellular 'tetanization' of axons, conducting an excitatory synaptic afference on neurons, explored by microelectrode. d: excitatory synaptic input on a silent oscillator, eliciting bursts during the afference, but no afterdischarge. e: synaptic 'tetanization' on two normal tonic neurons endowed with inapparent oscillatory properties (damped oscillators) eliciting afterdischarges at the offset of the afference. Arrows: the duration of a high-frequency synaptic afference, eliciting on the upper neuron IPSPs and hyperpolarization, and on the lower neuron EPSPs and discharge. At the offset of the tetanization: the upper neuron elicits slow and damped oscillations sustaining bursts. Here only the first burst is featured. The lower neuron, after a hyperpolarizing rebound, elicits a long-lasting afterdischarge.

case, if the cell is of the oscillatory type (facultative or inapparent oscillator), the afterdischarge displays long-lasting bursts of damped amplitude and frequency until recovery of the regular initial frequency. Facultative oscillator means a tonic cell able to display bursts sometimes. An inapparent oscillator is a silent (resting) cell, which if firing displays bursts. However, if the same extracellular electroshock is applied on cells of the stable type, it elicits some depolarization and firing but of short duration. In these cases the tonic neurons are also more sensitive to the electroshock than the stable neurons.

Electroshock indirect effects, synaptically exerted on remote neurons

Axons stimulated during the electroshock can elicit postsynaptic afterdischarges or bursts from sensitive neurons

The current density of an extracellular electroshock may excite axonal branches and preterminals as well as postsynaptic somato-dendritic areas^{2a}. In this case the repetitive stimulation of axonal preterminals at high frequency (50/s, 50 Hz) produces synaptic inputs of unusually high frequency on the postsynaptic neurons.

During such a synaptic bombardment the summation of either excitatory postsynaptic potentials (EPSPs) or inhibitory postsynaptic potentials (IPSPs) will depolarize or hyperpolarize the postsynaptic neuron. If this neuron is of the stable type and silent it will elicit an adaptative discharge (i.e. spiking with decremental frequency, during the electroshock and nothing else at the offset of the electroshock). However, if the postsynaptic neuron is of the rhythmic type (i.e. intrinsically rhythmic tonic neuron, inapparent oscillator and/or permanent oscillator) at first it will display depolarizations or hyperpolarizations resulting from the summation of EPSPs or IPSPs during the electroshock. Second, postsynaptic afterdischarges will be elicited at the offset of the electroshock according to the kind of the membrane potential rebound, i.e. depolarizing or hyperpolarizing. These rebounds, if the neurons are damped oscillators, will be followed by slow oscillations of their membrane potential of diminishing amplitude, sustaining attenuated bursts characterizing their afterdischarge.

One could also consider that the repetitive extracellular stimulation of axons can pass through collaterals, and inhibit the neuron antidromically. This mechanism can be predicted according to the known mechanism of recurrent inhibition, or by afferent collateral^{2,13,18,19,21}. An analysis of diphasic and/or bursting responses following the mechanism of recurrent inhibition from data obtained on neuronal models will be presented in the next paper.

In summary, the extracellular electroshock elicits axonal discharges of high frequency: the conduction of such discharges will in turn elicit a postsynaptic discharge on other neurons. This postsynaptic discharge may also be followed by an afterdischarge in the soma only of tonic neurons endowed with oscillatory properties of the 'damped' type (i.e. eliciting decremental oscillations).

Tonic neurons, if destabilized, elicit paroxysmal depolarization and afterdischarges with a minimum synaptic input

If a synaptic bombardment of the afferent to a normal tonic neuron is insufficient to elicit an afterdischarge, any destabilizing action exerted on this tonic neuron will facilitate the afterdischarge production.

By destabilization of a tonic neuron we mean its conversion to a bursting neuron. The destabilizing agents are mainly convulsants and epileptogenic molecules, as well as some heavy cations, etc.^{7,9,17}.

When the conversion of a tonic neuron to a bursting neuron occurs, the burster is then an abnormal endogenous oscillator, with spontaneous burst activity. A synaptic bombardment, excitatory or inhibitory, on such a neuron leads to complicated afterdischarges depending on the sign of the input (excitatory or inhibitory) and on the instantaneous incidence of the input on the spontaneous slow oscillations. Therefore any pertinent analysis of the synaptic effects must be performed in the interburst resting state when the oscillator is hyperpolarized and silent. Such a possibility is offered by destabilizing the neuron with convulsant such as metrazol (or pentylenetetrazol, PTZ), bemegrade, etc.⁹.

Tonic neurons of *Aplysia* or *Helix* (PTZ-treated of low concentration)^{7,31} may first give spontaneous bursts but later on, these bursts are of very low frequency. A synaptic input then, either excitatory or

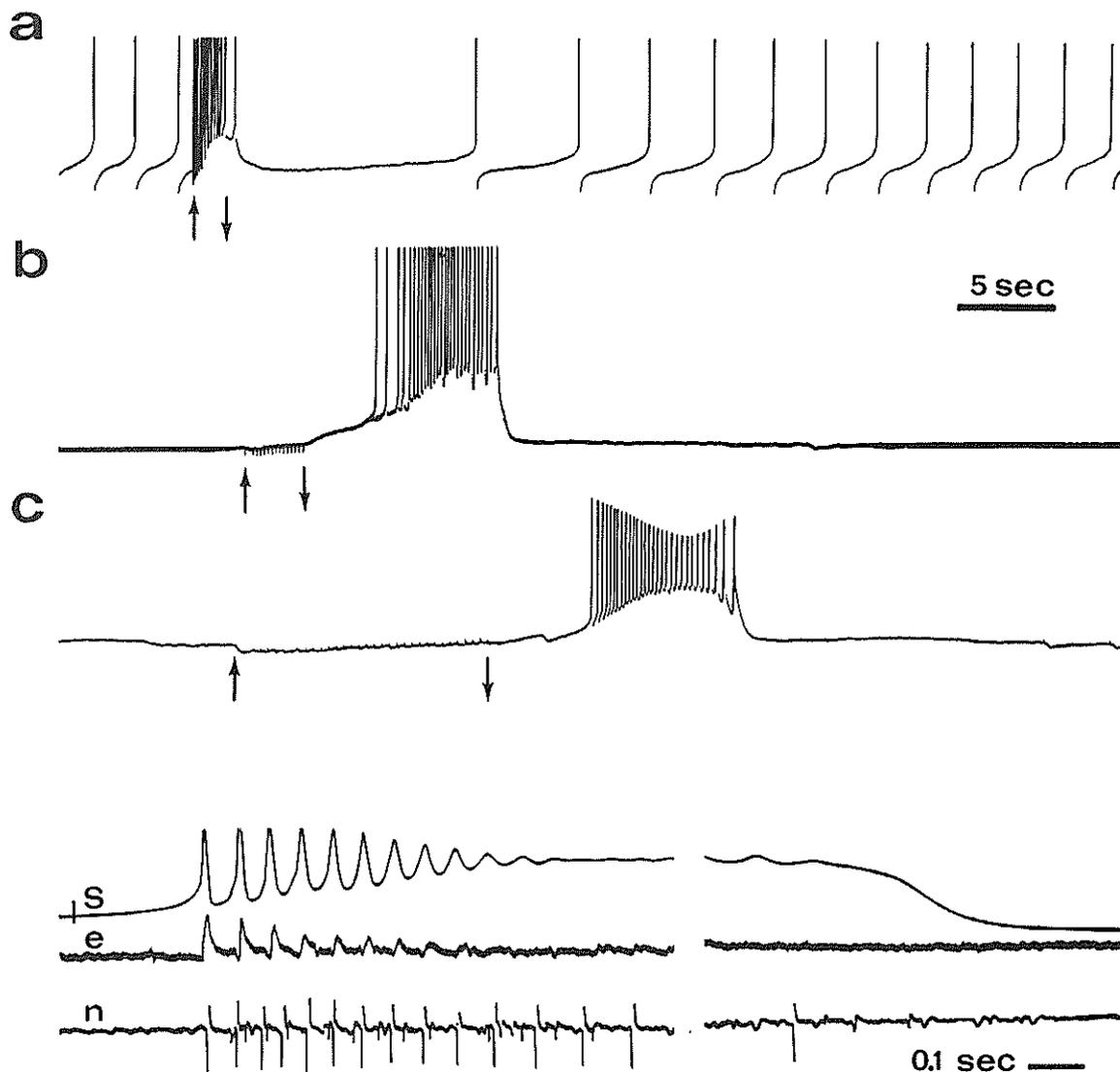


Fig. 5. Paroxysmal afterdischarges elicited on metrazol-treated neuron of *Helix*. a: normal tonic neuron synaptically activated (synaptic tetanization between the arrows). During the afference, the neuron depolarizes. At the offset it elicits a post-repolarizing rebound which is not followed by an afterdischarge. Only a gradual recovery of the initial frequency is conspicuous. b: same neuron as above, metrazol-treated. During a period of silence, a synaptic excitatory tetanization elicits at the offset a paroxysmal depolarization shift (PDS) sustaining an afterdischarge. c: another neuron, metrazol-treated; a multisynaptic tetanization (nerve stimulation) elicits mixed IPSPs and EPSPs; at the offset the PDS sustains an afterdischarge. Lower trace — s, e, n recordings: metrazol-treated *Helix* soma. Synchronous somatic PDS and efferent discharge of its axon elicited at the offset of a single synaptic stimulation. s: intrasomatic PDS and spikes. e: extracellular somatic spikes, recorded directly on the same neuron. n: extracellular firing of the axon of the same neuron, recorded on the efferent nerve, in which the axon is engaged. The gaps between broken traces corresponds to 2 s.

inhibitory, incident in the interburst silent period may give rise to an afterdischarge, similar to a paroxysmal depolarization shift (PDS)²⁴ (Fig. 5). Such a PDS may be obtained easily by further PTZ treatment^{7,11}, under conditions leading to a PDS bursting. In that case, not only a synaptic bombardment

but also even a single synaptic stimulus leading to a single EPSP is sufficient for eliciting an extra PDS. It has already been described that when the soma of the neuron elicits a PDS, its axon hillock displays a discharge of spikes, synchronous to the PDS. The site of origin of these conducted spikes — recorded

in a remote area of the axon — may be displaced from the soma to the axon hillock along the duration of the somatic PDS (Fig. 5).

In conclusion, the synaptic input required for a PDS and afterdischarge elicitation may become lower and lower as long as the destabilization of the membrane increases progressively. Recent work with mammalian brain cells demonstrates some facilitation of kindling obtention after treatment of these neurons with destabilizing molecules such as PTZ⁴ and cocaine, lidocaine^{20,28}.

DISCUSSION AND CONCLUSION

It is evident that post-stimulative afterdischarges obtained from the sensitive neuronal population of the brain, after severe repetitive stimulations are the result of long-lasting disturbances either proximal (direct) or remote (synaptic) and not only electrical but also of neurohumoral nature.

The restriction of this work to single neuron post-stimulative electric effects, direct or indirect (synaptic), seems to be indispensable in order to disclose the relative importance of the oscillatory type of neuronal responsiveness.

The oscillatory post-stimulative bursting, already

described by the pioneers of the brain cell exploration^{12,16,27,30}, and related to the clonic phase of seizures, may find a solid interpretative basis on the above results obtained by neuronal models. One of the interpretations can be based on the endogenous nature of the afterdischarge burst displayed either by normal silent oscillators or by destabilized neurons behaving as abnormal oscillators.

Therefore, if the electroshock is strong, even a stable neuron may elicit an afterdischarge, but the threshold of the required electroshock may be lowered if the stable neuron is destabilized.

Neurons of the tonic type are more sensitive (lower threshold) in eliciting afterdischarges than the stable neurons.

After a severe synaptic bombardment (i.e. tetanization) only the tonic neurons, and/or neurons endowed with oscillatory properties, may elicit long-lasting discharges with or without bursts. Finally the destabilization of the tonic neurons (i.e. their conversion to abnormal bursters) may enhance greatly their sensitivity to axonal afterdischarge production. It turns out that neuronal electrical behaviour evolving towards the paroxysmal or convulsant type arises from an enhancement of the neuronal oscillability.

REFERENCES

- 1 Ajmone-Marsan, C., Focal electrical stimulation. In D. P. Purpura et al. (Eds.), *Experimental Models of Epilepsy*, Raven Press, New York, 1972, pp. 147–172.
- 2 Andersen, P. and Eccles, J. C., Inhibition phasing of neuronal discharge, *Nature (Lond.)*, 196 (1962) 645–647.
- 3 Arvanitaki, A. and Chalazonitis, N., Configurations modales de l'activité propres à différents neurones d'un même centre, *J. Physiol. (Paris)*, 50 (1958) 122–125.
- 4 Cain, D. P., Pentylentetrazol sensitization facilitates subsequent amygdaloid kindling in the rat, *Neurosci. Abstr.*, 7 (1981) 586.
- 5 Chalazonitis, N., Effects of changes in pCO₂ and pO₂ on rhythmic potentials from giant neurons, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 109 (1963) 451–479.
- 6 Chalazonitis, N., Introduction to neuronal burst activity, *J. Physiol. (Paris)*, 73 (1977) 441–452.
- 7 Chalazonitis, N., Some intrinsic and synaptic properties of abnormal oscillators. In N. Chalazonitis and M. Boisson (Eds.), *Abnormal Neuronal Discharges*, Raven Press, New York, 1978, pp. 115–132.
- 8 Chalazonitis, N. and Arvanitaki, A., Dérivation endocytaire simultanée de l'activité de différents neurones in situ, *C.R. Acad. Sci.*, 246 (1958) 161–163.
- 9 Chalazonitis, N. and Arvanitaki, A., Convulsants and anticonvulsants on single neurons. In J. Mercier (Ed.), *International Encyclopedia of Pharmacology and Therapeutics, Section 19, Vol. 2*, Pergamon Press, New York, 1973, pp. 401–424.
- 10 Chalazonitis, N. and Boisson, M., Récupération d'électrogenèse neuronale après un électrochoc, *J. Physiol. (Paris)*, 71 (1975) 327 A.
- 11 Chalazonitis, N. and Takeuchi, H., Amplitudes oscillations du potentiel de membrane induites par le métrazol. (Neurones autoactifs d'*Helix pomatia*), *C.R. Soc. Biol.*, 162 (1968) 1552–1556.
- 12 Crowell, R. M. and Ajmone-Marsan, C., Topographical distribution and patterns of unit activity during electrically induced after-discharge, *Electroenceph. Clin. Neurophysiol.*, Suppl. 31 (1972) 59–73.
- 13 Eccles, J. C., Inhibition in thalamic and cortical neurons and its role in phasing neuronal discharges, *Epilepsia*, 6 (1965) 89–115.
- 14 Frazier, W. T., Kandel, E. R., Kupfermann, I., Waziri, R. and Coggeshall, R. E., Morphological and functional properties of identified neurons in the abdominal ganglion of *Aplysia californica*, *J. Neurophysiol.*, 30 (1967) 1288–1351.
- 15 Gastaut, H., Naquet, R. and Roger, A., Etude des post-décharges électriques provoquées par stimulation du complexe nucléaire amygdalien chez le rat, *Rev. Neurol.*, 87

- (1952) 224–231.
- 16 Gerin, P., Microelectrode investigations on the mechanisms of the electrically induced epileptiform seizure ('after discharge'), *Arch. ital. Biol.*, 98 (1960) 21–40.
 - 17 Gola, M., A model for the production of slow potential waves and associated spiking in molluscan neurons. In N. Chalazonitis and M. Boisson (Eds.), *Abnormal Neuronal Discharges*, Raven Press, New York, 1978, pp. 243–261.
 - 18 Kandel, E. R. and Spencer, W. A., Excitation and inhibition of single pyramidal cells during hippocampal seizure, *Experimental Neurology*, 4 (1961) 162–179.
 - 19 Kandel, E. R. and Spencer, W. A., Electrophysiology of hippocampal neurons, *J. Neurophysiol.*, 24 (1961) 243.
 - 20 Labos, E. and Lang, E., On the behaviour of snail neurons in the presence of cocaine. In N. Chalazonitis and M. Boisson (Eds.), *Abnormal Neuronal Discharges*, Raven Press, New York, 1978, pp. 177–188.
 - 21 Lux, H. D. and Klee, M. R., Intracellulare untersuchungen über den Einfluss Hemmender potentiale im motorischen cortex. 1. Die Wirkung elektrischer Reizung unspezifischer Thalamus kerne, *Arch. Psychiat. Z. Ges. Neurol.*, 203 (1963) 648–666.
 - 22 Miller, J. J. and Baimbridge, K. G., Long term alteration in hippocampal calcium-binding protein following kindling-induced epilepsy, *Neurosci. Abstr.*, 7 (1981) 584.
 - 23 Pinsky, C. and Burns, D. B., Production of epileptiform after discharges in cats cerebral cortex, *J. Neurophysiol.*, 25 (1962) 359–379.
 - 24 Prince, D. A. and Schwartzkroin, P. A., Non synaptic mechanisms in epileptogenesis. In N. Chalazonitis and M. Boisson (Eds.), *Abnormal Neuronal Discharges*, Raven Press, New York, 1978, pp. 1–12.
 - 25 Purpura, D. P., Ontogenetic models in studies of cortical seizure activities. In D. P. Purpura et al. (Eds.), *Experimental Models of Epilepsy*, Raven Press, New York, 1972, pp. 531–556.
 - 26 Purpura, D. P., McMurtry, J. G., Leonard, C. F. and Malliani, A., Evidence for dendritic origin of spikes without depolarizing prepotentials in hippocampal neurons during and after seizures, *J. Neurophysiol.*, 29 (1966), 954–979.
 - 27 Sawa, M., Nakamura, K. and Saito, M., Intracellular phenomena and spread of epileptic seizure discharges, *Electroenceph. clin. Neurophysiol.*, 24 (1968) 146–154.
 - 28 Stripling, J. S. and Hendricks, C., Facilitation of kindling by convulsions produced by cocaine or lidocaine but not pentylenetetrazol, *Neurosci. Abstr.*, 7 (1981) 812.
 - 29 Swinyard, E. A., Electrically induced convulsions. In D. P. Purpura et al. (Eds.), *Experimental Models of Epilepsy*, Raven Press, New York, 1972, pp. 433–458.
 - 30 Sypert, G. W., Oakley, J. and Ward, A. A., Jr., Single unit analysis of propagated seizures in neocortex, *Exp. Neurol.*, 28 (1970) 308–325.
 - 31 Takeuchi, H., Modifications of the convulsant-induced abnormal biopotentials of a molluscan giant neuron by drugs, divalent ions and temperature change. In N. Chalazonitis and M. Boisson (Eds.), *Abnormal Neuronal Discharges*, Raven Press, New York, 1978, pp. 151–163.
 - 32 Takeuchi, H. and Chalazonitis, N., Hyperpolarisations ou dépolarisations prolongées post-stimulatives de la neuro-membrane, *C.R. Soc. Biol.*, 161 (1967) 1098–1104.

Éditeur
Centre Scientifique de Monaco
16, boulevard de Suisse
MC 98030 MONACO CEDEX
(Principauté de Monaco)

