

DEVELOPPEMENTS RECENTS DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION DANS LA  
LAGUNE DE VENISE

François NYFFELER \*

*Fonds National Suisse de la Recherche Scientifique*

RESUME

On présente la synthèse des travaux récents (1976 - 1978) dans les différentes disciplines concernées par les processus de dégradation du système lagunaire.

ABSTRACT

We present a review of the last contributions (1976 - 1978) concerning the problem of pollution in the lagoon of Venice.

\*  
\* \*

INTRODUCTION

Parmi les sites méditerranéens gravement menacés par la pollution, Venise occupe une place de choix, non seulement en raison du caractère historique de la ville et de son voisinage avec l'un des plus grands complexes industriels d'Italie, mais également parce qu'elle est située au centre d'une lagune à potentiel économique élevé, actuellement en cours de dégradation.

L'existence de plusieurs laboratoires locaux, à caractère public et privé, a favorisé de longue date le développement des recherches dans les disciplines connexes de la protection de l'environnement. Bien que l'action de ces structures n'ait pas été, à l'origine, coordonnée sur la base d'un programme concerté, elle n'en revêt pas moins en fin de compte, l'apparence d'une approche multidisciplinaire implicite; d'autant plus qu'une partie des travaux répondant initialement à des motivations de recherche fondamentale s'orientent vers des applications pratiques, fournissant les premières données de base en vue de la future gestion du système lagunaire.

Cette tendance, qui s'est affirmée durant cette dernière période, confère au cas Venise considéré en tant que problème régional caractéristique, un intérêt qui va au-delà de celui des diverses contributions scientifiques prises dans leur individualité.

Pour illustrer cette évolution et faire le point de la situation actuelle, nous avons répertorié et synthétisé l'ensemble des travaux réalisés ou publiés entre 1976 et 1978 dans les trois domaines principaux rattachés à la thématique de la pollution, à savoir :

\* Adresse permanente de l'auteur : Pierre à Mazel 6 CH 2000 NEUCHÂTEL Suisse

- A) Caractéristiques et phénomènes physiques du système lagunaire.  
( hydrodynamique, renouvellement, dispersion des polluants, etc )
- B) Le domaine biologique  
( Planctonologie, recensement d'espèces, mécanismes trophiques, etc )
- C) Le domaine chimique  
( Evaluation des niveaux de pollution)

#### A) CARACTERISTIQUES ET PHENOMENES PHYSIQUES DU SYSTEME LAGUNAIRE

Dans ce domaine, l'intérêt s'est essentiellement porté sur les approches modélistiques, seules aptes à rendre compte globalement des phénomènes à grande échelle qui intéressent la lagune. L'approche expérimentale est restée limitée à des opérations ponctuelles ou locales, destinées avant tout à l'étalonnage des modèles ou à la vérification des résultats de simulations.

Un premier groupe de travaux vise à définir les caractéristiques du transport des polluants, par une application des modèles mathématiques et physiques opérationnels. L'utilisation d'un schéma hydrodynamique classique a permis d'obtenir une représentation satisfaisante du champ de courant dans la lagune centrale (24), complétant les informations fournies par le modèle monodimensionnel précédemment élaboré sur la base de la division naturelle du bassin selon son réseau de canaux.

A partir de ces données, on a évalué les transports nets, déterminant la capacité de renouvellement par échange de masse (20), et simulé les mouvements de particules afin de préciser les processus de transit des polluants dans le système lagunaire à partir des déplacements résiduels sur plusieurs cycles de marée (21).

Les conséquences des restrictions des embouchures de la lagune ont également été décrites sur la base de simulations, en introduisant directement les variations de géométrie aussi bien dans les modèles mathématiques (14), (15), que sur un modèle physique (41). Ces interventions, prévues à l'origine pour protéger le centre historique contre les inondations, se répercutent en effet sur le taux de renouvellement du bassin, entraînant une diminution des échanges avec la mer.

Un second groupe de travaux est constitué par les recherches relatives aux phénomènes de la dispersion et de la diffusion des polluants, qui ont fait l'objet d'un examen particulièrement attentif au cours de cette dernière période. Les diverses approches effectuées en intégrant les termes caractérisant la diffusion dans les équations générales servant de base aux modèles hydrodynamiques se sont heurtées principalement à la difficulté de définir des coefficients correspondant aux conditions effectivement rencontrées en lagune (26), (25).

Le phénomène de dispersion a également été simulé sur la base du modèle hydraulique mono-dimensionnel, en introduisant un coefficient d'échange latéral traduisant l'interaction entre les canaux et les zones peu profondes avoisinantes (23). Cette formulation a notamment été utilisée pour établir une prévision de l'extension d'une pollution accidentelle à partir de la zone industrielle de Marghera (21).

Dans un troisième groupe enfin, nous rangerons les travaux à caractère expérimental prévalent; parmi ceux-ci nous trouvons les campagnes vouées à l'étude de zones particulières (38), (39), les relevés systématiques des caractéristiques hydrologiques (17), ainsi que les expériences utilisant des traceurs pour la vérification des modèles diffusifs.

La photographie aérienne a également été mise en oeuvre pour la détermination synoptique du champ de courant dans la lagune centrale, sur une superficie couvrant plusieurs dizaines de kilomètres carrés (35). La télédétection proprement dite a été appliquée pour différencier les masses d'eau lagunaire par les discontinuités d'émissivités correspondant à la structure thermique de la couche superficielle (3), (4), (5), (6), et notamment pour décrire les mécanismes d'échanges aux embouchures (2).

Enfin, dans la mesure où les polluants sont souvent associés aux particules en suspension, il nous paraît logique d'inclure dans ce troisième groupe les travaux décrivant la distribution générale des sédiments superficiels (13), (9), (10).

## B) DOMAINE DE LA BIOLOGIE

Une grande partie des problèmes biologiques étant implicitement liés à ceux de l'environnement, nous nous limiterons ici aux recherches qui nous paraissent avoir une liaison directe avec la thématique qui nous intéresse. Soulignons qu'en raison d'une longue tradition dans ce domaine, une partie des travaux cités ne représentent en fait que la phase ultime d'investigations à longue échéance, en cours depuis plusieurs années.

Le premier groupe comprend les études relatives à la planctologie, qui reste à la base de toute description de l'écosystème lagunaire, puisque c'est dans la composition du plancton que se reflètent dans une certaine mesure les conséquences des interventions exécutées sur le système ( déversements de substances toxiques, échauffement artificiel, modification du régime des échanges, etc).

Les derniers travaux publiés concernent la répartition de la biomasse (16), la distribution et la composition zooplanctonique à l'intérieur du bassin (19), ainsi qu'une étude détaillée sur le cycle annuel d'une population planctonique représentative ( cladocères ) dans laquelle l'analyse en composantes principales est utilisée pour déterminer l'influence respective des différents facteurs hydrobiologiques (18).

La planctologie est évidemment en étroite relation avec le se-

cond groupe de travaux qui concerne le trophisme de la lagune. On y trouve notamment des déterminations périodiques de la teneur en éléments nutritifs, associées à l'abondance planctonique, pour trois stations de la lagune Nord observées mensuellement (36).

Les modèles et l'expérimentation active représentent un complément de ces observations systématiques. Ainsi les phénomènes trophiques et bio-chimiques ont été simulés à partir de modèles étalonnés sur la base d'une série d'expériences de bio-simulation in situ complétées par des tests sur l'inhibition de la photosynthèse par diverses substances toxiques (métaux lourds, phénols, fluorures, cyanures, tensio-actifs, etc) (40). Ce travail considère également les échanges d'éléments nutritifs entre les sédiments et l'eau sus-jacente pour diverses conditions d'oxygénation du milieu.

Dans une autre optique, nous mentionnerons les études fondamentales relatives à l'auto-épuration naturelle par les micro-organismes, qui soulignent l'importance des bactéries autotrophes dans le cycle de l'azote (37). Ces résultats qui mettent en évidence une augmentation de l'activité bactérienne avec le niveau d'eutrophisation, mais également une inhibition en présence de fortes teneurs en ammoniacque, revêtent un intérêt particulier, du moment que l'on se préoccupe actuellement de fixer les seuils de tolérance pour le déversement des polluants en lagune.

Le troisième groupe de travaux concerne l'utilisation des organismes benthiques en tant qu'indicateurs de pollution. Les variations de morphologie des individus, mais surtout le taux de croissance et la composition des communautés qui se fixent sur des supports artificiels, ont permis la classification de différentes zones lagunaires en fonction de leur degré de dégradation (31).

Les études approfondies concernant la cinétique de l'accumulation et de l'élimination des hydrocarbures par les moules (*Mytilus edulis*) nous semblent également devoir être rattachés au domaine biologique, dans la mesure où l'intérêt porté aux facteurs physiologiques et à l'influence des conditions expérimentales prime sur celui accordé à la valeur des niveaux de saturation proprement dits (28).

### C) DOMAINE DE LA CHIMIE

Outre les travaux relatifs aux éléments nutritifs déjà mentionnés dans le paragraphe concernant les problèmes trophiques, la principale activité dans le domaine chimique est représentée par les mesures du niveau pollution par les métaux lourds, les hydrocarbures et leurs dérivés, au moyen des organismes indicateurs (*Balanus amphitrite*, *Mytilus edulis*) (8) (29) (30). Leur fonction d'intégrateur a été utilisée pour dresser une carte reflétant le niveau moyen de pollution par les hydrocarbures (27), (28) qui fait apparaître des valeurs comprises entre 3 et 350 Mg/l.

## ANALYSE ET CONCLUSIONS

Cet examen des travaux récents relatifs à la pollution de la lagune de Venise confirme l'existence d'un potentiel scientifique local incontestable, puisque pratiquement tous les aspects du problème sont pris en considération.

Cette approche reste certes encore sectorielle en raison de la subdivision en structures de recherches indépendantes, mais également parce qu'une partie des recherches auxquelles il est fait référence avaient acquis leur dynamique propre avant que ne se concrétise l'intérêt pour les sciences de l'environnement.

Dans ces conditions, il est sans doute illusoire d'envisager une reconversion globale de ce potentiel de recherche à des objectifs purement appliqués; c'est plutôt en associant des thèmes finalisés aux programmes en cours que l'on peut espérer aboutir progressivement à une collaboration multidisciplinaire explicite, bénéficiant des compétences et de l'expérience acquise dans chaque domaine.

Allant au delà d'une simple extension des recherches en cours, une telle évolution requiert cependant une programmation d'ensemble, tenant compte non seulement des données les plus récentes acquises dans les disciplines " marines ", mais également des impératifs socio-économiques externes qu'il serait vain de vouloir sous-estimer. Sur cette base pourront être définies avec plus de précision les actions prioritaires à entreprendre avec le concours des structures scientifiques locales.

Cette optique concorde apparamment avec celle adoptée par les autorités vénitiennes en commanditant une étude d'envergure visant à déterminer " les seuils de tolérance pour le déversement de substances polluantes dans la lagune ". Cette initiative se révèle positive puisque ce travail, de nature essentiellement appliquée\*, réalisé dans des délais très brefs, constitue indiscutablement à ce jour la contribution la plus complète sur l'argument, en raison non seulement des nouvelles données fournies, mais également d'une remarquable synthèse de l'ensemble des connaissances actuelles sur le système lagunaire.

---

\* Les objectifs fixés étaient les suivants :

- . Evaluer les limites de tolérance en substances eutrophisantes et toxiques dans la lagune centrale.
- . Estimer le temps nécessaire au rétablissement de conditions trophiques acceptables à la suite de l'élimination des substances eutrophisantes.
- . Définir les caractéristiques d'un système de contrôle des conditions de qualité dans la lagune centrale.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) - ADAMI A., AVANZI C., BARONCINI E., DA DEPPO L., et LIPPE E.- Esame su modello idraulico degli effetti di un eventuale sbarramento della Bocca di Lido. (*Sous presse*).
- (2) - ALBEROTANZA L. et LECHI G.M., 1976. - Bocca di Porto di Lido di Venezia = Studio della dinamica del deflusso mediante tecniche di remote sensing. *Convegno di Oceanografia e limnologia*. St Margherita Ligure, Nov. 76.
- (3) - ALBEROTANZA L. et LECHI G.M., 1977. - Quantitative evaluation of water bodies dynamic by means of thermal infrared and multispectral surveys on the venetian lagoon. *II th Int. Symp. Rem. Sens. Envir.* 25-29 April 1977, Michigan, pp. 893 - 902.
- (4) - ALBEROTANZA L. et LECHI G.M., 1978. - Frequency analysis of aerial thermal surveys on shallow water : A methodology to describe geometric distribution of bottom morphology. *Intern. Symp. Remote Sensing Invest. Earth Res.* July 78, Freiburg ( Germany )
- (5) - ALBEROTANZA L. et MARTINO E., 1978. - Identification of descriptive parameters in MSS system by multivariate analysis and spline fitting. *XVIII Conv. Int. Sci. Spazio*. Marzo 78, Roma, pp. 283-290.
- (6) - ALBEROTANZA L. et TONELLI A.M., 1978. - Thermal roughness and texture analysis of water bodies : Their relationship with the bottom morphology. *XVIII Conv. Int. Sci. Spazio*. Marzo 78, Roma, pp. 273-282.
- (7) - AVANZI C. et FORILLO G., 1978. - Esperimenti di dispersione nella laguna di Venezia. Confronto con un modello matematico unidimensionale. *XVI Convegno di Idraulica e costruzioni idrauliche*, Torino 1978.
- (8) - BARBARO A., FRANCESCON A., POLO B. et BILIO M., 1978. - *Balanus Amphitrite* : A potential indicator of fluoride, copper, lead, chromium and mercury in north Adriatic lagoons. *Mar. Biol.* 46, pp. 247 - 257.
- (9) - BARILLARI A. et ROSSO A., 1976. - Prime notizie sulla distribuzione dei sedimenti superficiali del bacino settentrionale della laguna Veneta. *Mem. Biogeogr. Adriatica*. 9 suppl. pp. 13-32.
- (10) - BARILLARI A., 1978. - Prime notizie sulla distribuzione dei sedimenti superficiali nel bacino centrale della laguna di Venezia. *Ist. Ven. Sci. Let. Arti*, Tome CXXVI, 11 pp. (*sous presse*).

- (11) CANZONIER W. et LOMBARDO A., 1976. - Studio comparativo di indicatori batterici di inquinamento fecale. *Igiene Moderna*, Anno LXIX, Sett-ott 1976, N° 5, pp. 391-400.
- (12) - CANZONIER W., 1976. - Distribution and changes in relative prevalence of two groups of enterobacteria in the lower laguna veneta. *Atti Ist. Ven. Sci.*, 134, pp. 133 - 148.
- (13) - CAVAZZONI S., 1977. - Variazioni batimetriche e idrografiche nella laguna di Venezia intercorse tra il 1933 ed il 1971. *Ist. Ven. Sci. Lett. Arti.*, Vol. 7 pp. 1-17.
- (14) - CHIGNOLI C. et RABAGLIATI R., 1976. - Un modello matematico per la laguna di Venezia. *Sistemi e automazione*, N° 165, pp. 679 - 684.
- (15) - CHIGNOLI C. et RABAGLIATI R., 1977. - A two dimensional model of the lagoon of Venice : Acqua alta and modular sluices. *I.A.H.R.*, XVII th Cong. Baden Baden. pp. 393-400.
- (16) - COMASCHI SCARAMUZZA S., 1976. - Studio sulla biomassa zooplanctonica nella laguna di Venezia. *Ist. Ven. Sci. Lett. Arti*, Tome CXXXIV, Sci. Mat. Nat. pp. 47-73.
- (17) - COMASCHI S. et LOMBARDO A., 1977. - Hydrological data from the northern part of the Venice Lagoon. *Ist. Ven. Sci. Lett. Arti*, Tome CXXXV, pp. 1-16.
- (18) - COMASCHI SCARAMUZZA S. et MARTINO E., 1978. - Studio del ciclo annuale dei cladoceri nella laguna di Venezia mediante l'analisi in componenti principali. *Archo. Oceano. Limno.* 19.2, (sous presse)
- (19) - COMASCHI SCARAMUZZA S., 1978. - Osservazioni qualitative sullo zooplancton nella laguna di Venezia *Ist. Ven. Sci. Lett. Arti*, Tome CXXXVI, Sci. mat. Nat, pp. 13-31.
- (20) - DATEI C., 1978. - Contributo allo studio delle portate residue in una laguna schematica. *XVI convegno di Idraulica e costruzioni Idrauliche*, Torino 1978.
- (21) - D'ALPAOS L. et DEGAN F., 1978. - Un modello lagrangiano della Laguna di Venezia per lo studio del movimento delle particelle. *Comm. di Studio per la Difesa di Venezia*, *Ist. Ven. Sci. Lett. Arti*, studio e ricerche vol. VII
- (22) - DAZZI R., HIREL B. et NYFFELER F., 1976. - Condizioni idrologiche e circolazione idraulica nella parte di laguna soggetta ad apporti di acqua dolce. *VII Congresso Soc. It. Biol. Marina, Archo. Oceano. Limno.* 18 (Suppl. 3), pp. 451 - 465.
- (23) - DI SILVIO G., FIORILLO G. et DEGAN F., 1977. - A dispersion model for the lagoon of Venice. *XVIII Congress of I.A.H.R.*, Paper B18, Baden Baden, Vol. 3.

- (24) - DI SILVIO G., 1976. - Le correnti di marea nella parte centrale della laguna di Venezia. Modello matematico bidimensionale. *Comit. Tec. Sci. Difesa di Venezia*.
- (25) - DI SILVIO G., 1978. - La riproduzione su modelli fisici e matematici dei fenomeni di dispersione in ambienti fluviali e costieri. *XVI Congresso di Idraulica e costruzione idrauliche*, Torino.
- (26) - DEJAK C., 1977. - Modelli bi e tridimensionali di diffusione e trasporto nella laguna veneta. *5<sup>o</sup> Corso Ambiente e Risorse*, Bresanone, Sett 1977.
- (27) - FOSSATO U. et DOLCI F., 1977. - Inquinamento da idrocarburi nel bacino centrale e meridionale della laguna Veneta. *Archo. Oceano. Limno*. Vol. 19, (1), pp. 47-54.
- (28) - FOSSATO U. et CANZONIER W., 1976. - Hydrocarbure uptake and loss by the mussel *Mytilus Edulis*. *Mar. Biol.* 36 pp. 243-250.
- (29) - FOSSATO U. et CRABOLEDDA L., 1978. - Chlorinated hydrocarbons in mussels *Mytilus* sp. from laguna Veneta. *Archo. Oceano. Limno* (sous presse).
- (30) - FOSSATO U., NASCI C. et DOLCI F., 1978. - 3-4 Benzopyrene and perylene in mussels *Mytilus* sp from the laguna Veneta. *Journ. Marine Environ. Res.* (sous presse).
- (31) - FRANCESCON A. et BARBARO A., 1976. - Distribuzione del fouling lungo i canali Marghera- mare. *Ist. Ven. Sci. Let. Arti.*, Anno Acad 75-76, Cl. Sc. Nat. Mat., pp. 33-45.
- (32) - GALASSI S. et CANZONIER W., 1976. - Uptake and elimination of Rhodamine B by mussels. *L'igiene Moderna* N° 2, Marzo-Aprile 1976.
- (33) - HUBBARD D. W., 1976. - The evolution of the chemical regime in the lagoon of Venice. *C.N.R., Lab. Stud. Din. Gr. Masse*, Int. report, 20 pp. June 76.
- (34) - ISTITUTO DI IDRAULICA DI PADOVA, 1978. - Le correnti di marea nella laguna di Venezia. *Comitato per la Difesa di Venezia*, (sous presse).
- (35) - ISTITUTO DI IDRAULICA DI PADOVA, 1976. - Rilievo del campo di velocità superficiale nella laguna di Venezia con metodo aerofotogrammetrico. *Comitato per la Difesa di Venezia*.
- (36) - LOMBARDO A. et COMASCHI A., 1977. - Biological data from the northern part of the Venice lagoon. *Ist. Ven. Sci. Let. Arti.*, Tome CXXXV, Sci. Mat. Nat., pp. 133-148.
- (37) - LOMBARDO A., MARTINO E. et CIOCE F. 1979. - Attività dei batteri nitrosanti autotrofi nelle acque della laguna di Venezia. (sous presse) in *Mar. Biol.*
- (38) - NYFFELER F., 1976. - Le régime hydrodynamique de la lagune de Venise. Incidence sur les phénomènes de transport. *Fonds Nat. Suisse Rech.*

Sci. Rech. 2309. 75, 86 pp. juin 76.

- (39)- NYFFELER F., 1976. - Bilan d'une recherche experimentale sur la dispersion des polluants dans la lagune de Venise. *IIIèmes Journées Etudes Poll.* Comm. int. Explor. Mer Médit. Split 1976, pp.163-168.
- (40)- TECHNECO, 1978. - Valutazione dei limiti di accettabilità delle sostanze inquinanti agli scarichi sversati in laguna. Definizione di un sistema di controllo della qualità delle acque lagunari. *Comune di Venezia*, Assessorato Igiene ed Ecologia, Aprile 1978, 138 p.
- (41)- TECNECO, 1976. - Assessment of the effects induced by the projected narrowing of the inlets of the lagoon of Venice on navigation, hydrodynamics, waterquality, flora, fauna, fish farming. *Appalto concorso, Ministero lavori pubblici.*

