

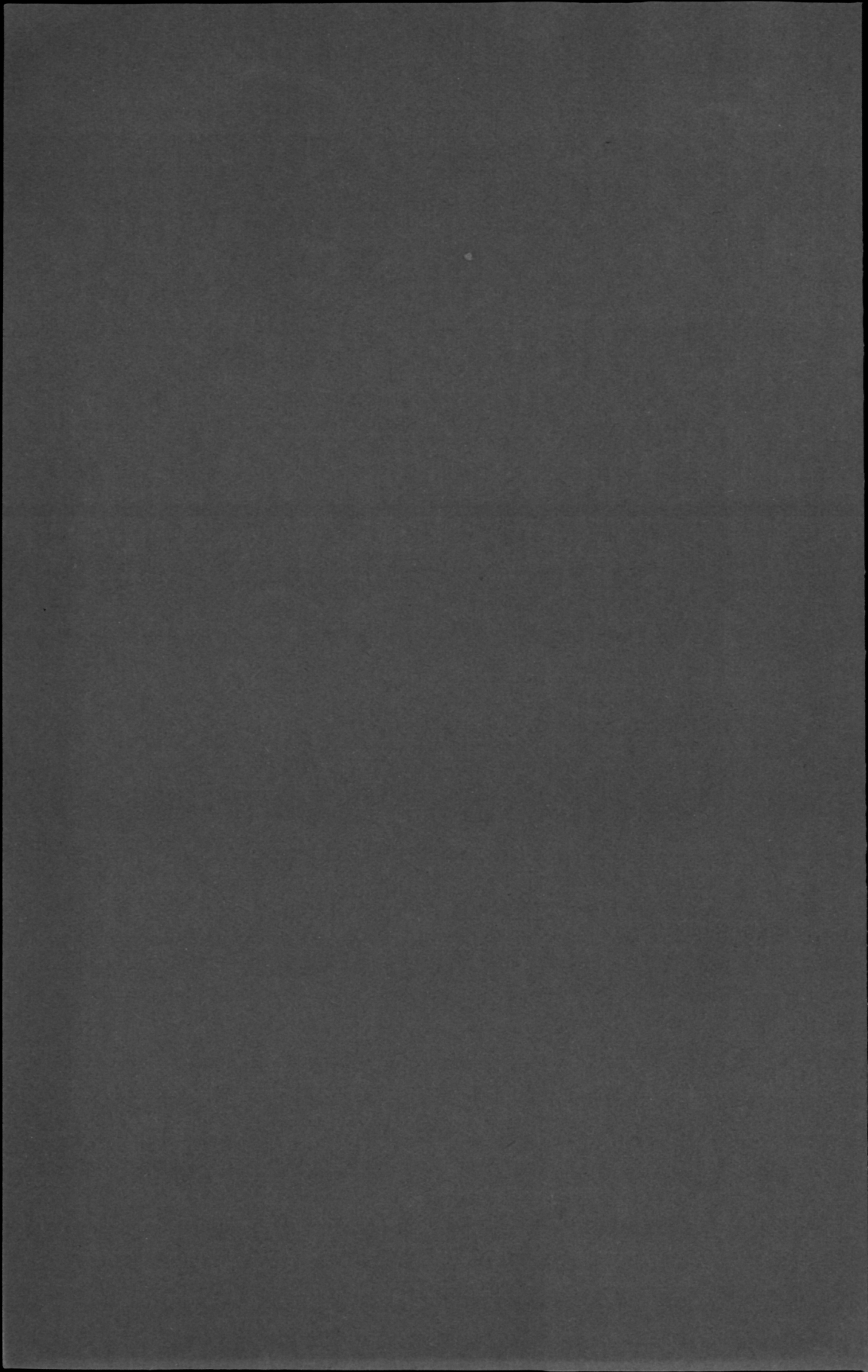
4387
55
149957
Jean-Claude PIHAN et Claude CROCHARD

**Intérêt de l'étude histopathologique
de certains organismes cibles dulcaquicoles
en vue d'une meilleure connaissance
du risque à long terme
lié à la présence de micropolluants.**



IMPRIMERIE DECLUME
Z. I. LONS - PERRIGNY

1978



**INTÉRÊT DE L'ÉTUDE HISTOPATHOLOGIQUE
DE CERTAINS ORGANISMES CIBLES DULÇAQUICOLES
EN VUE D'UNE MEILLEURE CONNAISSANCE
DU RISQUE A LONG TERME
LIÉ A LA PRÉSENCE DE MICROPOLLUANTS,**

PAR

Jean-Claude PIHAN et Claude CROCHARD.

Les recherches en hydrobiologie et en toxicologie permettent désormais de mieux comprendre la valence écologique des espèces. Les techniques d'histologie, de cytologie, et d'histochimie apportent des informations complémentaires pour le diagnostic de l'état de qualité des eaux. Une étude synthétique des principaux travaux dans ce domaine chez les organismes dulçaquicoles (algues, mollusques, crustacés, insectes, poissons) met en évidence les voies de pénétration, de circulation, de transit et d'accumulation, enfin d'excrétion des principaux micropolluants.

L'histopathologie des organismes aquatiques cibles renseigne sur leurs potentialités biotiques globales et possède une bonne valeur prédictive des risques à long terme encourus par la biocénose.

Interest of the histopathological study of some freshwater target organisms for a better understanding of the delayed risk caused by micropollutants.

Hydrobiological and toxicological studies allow now a better understanding of the ecological valency of species. Histological, cytological and histochemical techniques bring complementary informations to the diagnosis of water quality. A synthetical study of the main researches in this way among fresh-water organisms (algae, molluscs, crustaceans, insects, fishes) shows the penetration, circulation, transit, accumulation and excretion ways of the most important micropollutants. Histopathological study of target fresh-water organisms informs about the global biotic potentialities and has a good predicting value in the evaluation of delayed risks for the biocenosis.

Introduction.

La notion d'organisme « indicateur de pollution » ou organisme « sentinelle » ou « détecteur biologique » est désormais largement utilisée dans le diagnostic d'état de qualité des eaux, selon des méthodes variées et demandant encore actuellement à être perfectionnées. La structure de la biocénose est étudiée avec ses composantes

spécifiques, sa diversité, son abondance, sa biomasse, mais les différents indices ne tiennent pas compte de l'état physiologique normal ou anormal des organismes, état qui peut être, dans certains cas, révélé par une étude histopathologique.

Par ailleurs, les tests d'écotoxicologie, en définissant les DL0, DL50 et DL100 de certaines espèces en fonction du temps (généralement 24, 48 ou 96 heures) et en présence de tel ou tel toxique, ont précisé leur valence écologique. Par exemple, l'Ecrevisse américaine est plus tolérante que l'Ecrevisse à pieds pâles aux sels de métaux lourds (BOUTET et CHAISEMARTIN, 1973). Cependant, il s'agit là de tests très souvent aigus et la mortalité survient en état de choc sans permettre de dresser un tableau clinique des altérations histologiques spécifiques dues au polluant. L'expression de la toxicité d'un polluant doit être basée sur la diminution des potentialités globales de l'organisme (croissance, développement, reproduction, comportement d'évitement). La survie d'un organisme ou d'une population ne saurait suffire. Par exemple, la femelle ovigère d'*Orconectes rusticus* peut survivre à des concentrations élevées de micropolluant, mais ses œufs sont détruits à des concentrations quatre fois plus faibles.

L'expérimentation *in vitro* se dirige donc actuellement vers des études en semi chronicité, voire même en chronicité du pouvoir altérage des micropolluants. Parallèlement, on se préoccupe, sur le terrain, de dresser le bilan sanitaire de certains organismes cibles choisis dans la biocénose en fonction de leur hiérarchie dans la chaîne alimentaire et de leur pouvoir de bioaccumulation. Les bilans actuellement connus de l'action biocide des micropolluants orientent les recherches spécialement vers l'examen histologique de tel ou tel organe cible et permettent d'approfondir le mode d'action des toxiques au niveau de la physiologie de l'organe du tissu ou de la cellule atteinte.

Les micropolluants appartiennent à des familles chimiques très diverses, citons : — *les micropolluants organiques* (phénols, chlorophénols, organomercurels, amines aromatiques, hydrocarbures chlorés : pp'DDT, dérivés indoliques, N-nitrosamines, œstrogènes phénoliques, phtalates, hydrocarbures polycycliques : 3-4-benzopyrène, insecticides, détergents.

— *les micropolluants minéraux*, dont : les métaux lourds (Fe, Mn, Ni, Sn, Al, Pb, Zn, Cd, Hg, Cr, Co), les métalloïdes (As, Se, chlore résiduel), les métaux (Ba, Sr), le tétrachlorure de carbone.

Les composants abiotiques du milieu aquatique sont variés, et en fonction de l'échantillon, de valeur très variable. Certains micropolluants sont présents d'une manière permanente dans l'eau, les matières en suspension ou le sédiment. Cependant, il semble que le sédiment contribue à l'épuration de l'eau, sans déterminer la pollution des espèces qui vivent à son contact. La contamination se

TABLEAU I.

Auteur	Organisme	Micropolluant	Action
LINDEGREN, 1973	Levure	Cd.	Altération des mitochondries incapables alors d'oxydation. Développement du reticulum endoplasmique. (également en présence de Cobalt)
SILVERBERG, 1976	<i>Ankistrodesmus</i> <i>Chlorella</i> <i>Scenedesmus</i>	Cd. 30, 50, 100 µg/l	Déformation des membranes des mitochondries. Transparence de la matrice.* Vacuolisation - Dégénérescence. Hypothèse ? : inhibition de la phosphorylation oxydative. (cf. crustacé <i>Paratya</i>) <i>Nota</i> : La cycloheximide stoppe l'accumulation du cadmium (inhibition de synthèse protéique). MAC LEAN et WILLIAMSON 1977.
DELCOURT, VAIDEHI, MESTRE, 1973	Algues Chlorelle	Hg 0,06 µg/l à 0,74 µg/l selon genre et le sel de Hg	Action mitodépressive. Destruction des tubules du fuseau de caryocinèse. Cellules géantes.
FALCHUK, FAWCETT, VALLÉE, 1975	Euglènes	Cd fourni à la place de Zn	Synthèse anormale de paramylon. Initiation de la division cellulaire. Euglènes multinucléées. Noyaux volumineux. Nucléole fragmenté.

fait principalement par l'eau. La dynamique des échanges eau-sédiments pose cependant un problème. D'autres micropolluants apparaissent par bouffées en fonction d'un lâcher accidentel ou d'un re-larguage à partir du sédiment en fonction d'une modification mécanique ou physico-chimique du milieu.

Par contre, les organismes présents et principalement ceux du benthon intègrent les différents épisodes et deviennent ainsi de bons indicateurs de l'état de contamination du milieu abiotique et biotique. Ils peuvent même être les indicateurs privilégiés d'une décontamination et intervenir eux-mêmes dans la décontamination par dégradation du toxique en une molécule moins toxique (concrétions de sélénium mercurique dans le foie des cétagés). Ils peuvent également être les agents d'une transformation accroissant la toxicité (méthylmercure par exemple) la forme organométallique devenant biologiquement absorbable. Certains éléments biochimiques sont capables de complexer les biocides agresseurs et de les rendre non toxiques (protéines face au cuivre).

Analyse bibliographique de l'action des micropolluants.

Les tableaux ci-joints regroupent, pour les Algues Tb. 1, les Mollusques Tb. 2, les Crustacés Tb. 3 et les Poissons Tb. 4, les principales localisations et manifestations cyto et histopathologiques signalées par les auteurs en fonction du micropolluant utilisé, de la dose employée et du temps d'exposition.

Pour les larves d'Insectes, les travaux principaux sont ceux de l'équipe MARTOJA, BALLAN-DUFRANÇAIS, BAGON, JEANTET, LHONORÉ et TRUCHET (1973, 74, 77). L'utilisation de la microsonde électronique et du microanalyseur par bombardement ionique à l'oxygène a permis de montrer que les Insectes sont des concentrateurs biologiques importants des chaînes alimentaires en accumulant les éléments polluants de l'environnement. L'accumulation se fait sous la forme de sphérocristaux ou comme pour l'étain, par groupement anionique sur des mucopolysaccharides (Insectes du Lac Léman). Les cellules à sphérocristaux se rencontrent chez les Trichoptères qui piègent également les cations sur des mucoprotéines. Elles sont signalées également chez les Odonates, les Hétéroptères, les Mégaloptères. Les organes de stockage sont l'épithélium intestinal, le corps gras, les tubes de Malpighi, le tégument.

La composition minérale des sphérocristaux est variée, par exemple Ca, Mg, Mn, Zn, P, Cl dans les cellules du mésentéron de *Phryganea varia* (LHONORÉ).

La deuxième phase est l'extrusion des sphérocristaux à certains moments du cycle. La contamination se fait par la nourriture ou à partir des traces dans l'eau, d'autant plus facilement que l'ionisation des substances minérales dans ce milieu est importante. L'ad-

TABLEAU II.

Auteurs	Genres	Micropolluants	Masses molles (hépatopancréas- branchies manteau-muscles)	Hépatopancréas	Branchie	Bourrelet palléal	Coquille	Region péritentaculaire	Tube digestif	Appareil reproducteur	Sole pédieuse
MARTOJA R. et MARTOJA M., 1973	1. <i>Bithynia ten- taculata</i> 2. <i>Viviparus vi- viparus</i>	Al		1. Inclusions brunes. Al + Ca-Mg- Fe-Zn-Ca-P 2. Pas d'inclu- sions. Inocuité ou nocivité.							
CHAISEMARTIN, 1975 b.	<i>Limnea limosa</i>	Zn	La demi vie biologique de Zn est réduite si la concen- tration du mé- tal dans le mi- lieu augmente.								
CHAISEMARTIN in LABAT, LHONORÉ, CHAISEMARTIN, 1977	<i>Margaritifera margaritifera</i>	Zn 200 µg/l			+ Augmenta- tion de la teneur en Zn. Activation de l'anhydrase carbonique.	+ Augmenta- tion de la teneur en Zn. Activation de l'anhydrase carbonique.	+ Augmenta- tion de la teneur, pas de transmission aux prédateurs.				
RONDELAUD, CHAISEMARTIN, BARTHE, 1976	<i>Lymnea tron- catula</i>	Fe 10 mg/l		Excrétion par les cellules des acini de la glande diges- tive. Nécrose.				Pénétration du fer.	Pénétration du fer.	Stockage dans le réceptacle séminal. Excrétion par les ovocytes.	Remaniement. Sécrétion de mucus.
		Cu 1 mg/l		Excrétion par des granules des cellules de la glande digestive.				Pénétration. Transport par les amibocytes.	Pas d'interven- tion dans la pénétration. Défécation à 1 mg/l.		Hyperplasie. Sécrétion de mucus et ré- traction du pied.
CHAISEMARTIN, 1977 a	<i>Margaritifera margaritifera</i>	Cu (CuCl ₂) 200 µg/l	Stockage		Nota : la fonc- tion oxyphori- que est remplie par le Mn		Adsorption : autant chez les morts que chez les vivants				
CHAISEMARTIN in LABAT, LHONORÉ, CHAISEMARTIN, 1977	Limnée	Mn	Adsorption sur les surfaces muqueuses externes. Décontamina- tion très longue.								

TABLEAU III.

Auteur	Genres	Micropolluants	Dose-Temps	Exosquelette	Mue	Branchie	Hémolymph	Hépatopancréas	Ovaire	Tractus digestif	Muscle	Système nerveux	Nota
MARTIN, CHAISEMARTIN BERNARD, 1973	<i>Astacus leptodactylus</i> (Ecrevisse à longues pincés)	Cp'p'.DDT (hydrocar- bure chloré)	50 µg/l	+ Adsorption et stockage.		+ Adsorption et absorption. Stockage	+ Transport	+ Stockage (64 %) mais mobilisation possible.	+ stockage (10 %)	+ Stockage.	+ Stockage.		
LAKE et THORP, 1974	<i>Paratya tasmaniensis</i>	Cd	0,03 mg/l 96 heures			+ Dégénérescence mitochondriale avec granules. Dilatation des membranes du réticulum endoplas- mique granulaire.							
BOUTET et CHAISEMARTIN, 1973	<i>Austropotamobius pallipes</i> (Ecrevisse à pieds pâles) <i>Orconectes limosus</i> (Ecrevisse américaine)	Groupe 1 : Mg ²⁺ , K ⁺ , Sr ²⁺ , Cu ²⁺ , Zn ²⁺ Groupe 2 : Pb ²⁺ , Cr ²⁺ , Ni ²⁺ , Cd ²⁺ , Cd ²⁺ , Hg ²⁺	un mois.			Le groupe 2 agit sur les processus enzy- matiques de l'épithé- lium branchial.						Groupe 2 : Toxicité sur le système nerveux.	Synergie : Cu ²⁺ -Hg ²⁺ Antagonisme : Sr ²⁺ Ni ²⁺ Ordre des nuisances : Hg, Cd, Cu, Ni, Pb, Cr, Co, Fe, Mn, Zn, Ba, Sr, K, Mg.
CHAISEMARTIN, 1975 b	<i>Orconectes limosus</i> (Ecrevisse américaine)	⁶⁵ Zn	Alimentation mais la trituration provoque une certaine déconta- mination.					Stockage du zinc. (également du Cu et du Co) + Organe de décon- tamination.		+ Décontamination.			La contamination se fait plus par l'eau que par l'aliment.
CHAISEMARTIN, 1975 b	<i>Orconectes limosus</i> (Ecrevisse américaine)	Fe	10 mg/l		Adsorption d'eau réduite à la mue.	Capture du fer. Accumulation par formation d'un revêtement. Détoxica- tion à la mue.		+ Stockage avec baisse de glycogène et des lipides.					
CHAISEMARTIN, 1975 a.	Astacidés	Cu	Injection et milieu. 0,1 à 1 mg/l		Sensibilité supérieure à la mue 0,02 mg/l. Réduit la croissance.	Organe de transit après injection. Adsorption à partir du milieu. Troubles respiratoires et osmo- régulateurs.	+ Pas de rôle car les hémocyanines sont saturées. + Troubles ioniques Na ⁺ et Cl ⁻ K ⁺ . Ca reste stable	+ Stockage. + Organe de détoxi- fication.		Rejet par les excréta.	Organe de transit.		Présence naturelle de Cu dans les organes suivants : hépatopan- créas, ovaire, muscle hémolymph, bran- chie, glande verte Sensibilité des œufs et des embryons.

Nota : les expériences sont en cours concernant l'action d'hydrocarbures sur la Daphnie (PEIHAN - BELKHADIR).

sorption au niveau de la cuticule est importante pour le Cd, Co, Cr et Pb. Ceci a été démontré chez *Gomphus*, *Notonecta* ou *Limnephilus*.

D'autre part, CHAISEMARTIN, 1975 c, a étudié la toxicité du Cr^{6+} sur *Ecdyonurus* et *Sympetrum*. *Ecdyonurus* est plus sensible. Le Cr^{6+} modifie la perméabilité de la paroi branchiale et entraîne une altération létale du métabolisme respiratoire et du système osmorégulateur.

Les voies de pénétration du toxique sont variées selon les organismes, principalement cutanées (région péritentaculaire des Mollusques, peau de Poisson), respiratoires (les organes branchiaux des Crustacés et Poissons jouent un rôle privilégié) et digestives (tube digestif des Mollusques et des Insectes). Après pénétration par transport actif ou perméation passive, il y a migration dans les liquides intérieurs (hémolymphe, sang), puis fixation temporaire (organe de transit : branchie et muscle de Crustacé en présence de Cu) ou durable dans un organe de stockage : la branchie (Poissons : As, Zn, Cu ; Crustacés : DDT, Fe ; Mollusques : Zn) ; l'intestin moyen de Poisson (Pb, DDT) ; le tube digestif des Insectes ; l'hépatopancréas (Crustacés : DDT, Zn, Cu, Fe ; Mollusques : Al) ; le foie (Poissons : Zn) ; les masses molles (Poissons : Cu) ; l'ovaire (Poissons : DDT) ; le muscle (Poissons : DDT) ; le rein de Poisson (Pb) ; la rate de Poisson (Pb ou cadmium CROCHARD, non publié) ; la coquille des Mollusques (Zn) ; l'exosquelette des Crustacés et Insectes (DDT) ; le tissu lymphoïde du rein de Poisson (Pb) ; le réceptacle séminal des Mollusques (Fe) ; le corps gras et les tubes de Malpighi de l'Insecte ; la gonade de Poisson (Cd).

Les altérations cyto et histopathologiques sont plus ou moins prononcées, allant jusqu'à la nécrose totale. L'élimination se fait par des organes variés selon l'appartenance systématique et le micropolluant envisagé. Par exemple : le fer par les ovocytes et les cellules des acini de la glande digestive des Mollusques. Le cuivre par les cellules des acini de la même glande digestive ; le zinc et le cuivre par le tube digestif du Crustacé ; le manganèse par le rein, le foie, la muqueuse digestive du Poisson.

L'atteinte est très souvent localisée à un type cellulaire. Le retentissement sur l'état général de l'organisme est fonction de l'importance vitale du processus physiologique atteint dans ses télémediateurs, ainsi que celle des processus biochimiques altérant le métabolisme (absorption, rétention, régulation, excrétion). La décontamination est fonction de la vitesse de turn-over et de la voie d'élimination (tractus digestif, rein, cuticule).

Des paramètres biologiques (état physiologique, histoire), physico-chimiques (floculations de mucus) et mécaniques (nature des cuticules) interviennent dans la définition des organismes cibles.

Le phénomène d'adsorption est important et général ; il est noté chez les Algues, les surfaces muqueuses externes et la coquille des Mollusques vivants ou morts, la branchie des Crustacés, la cuticule des larves d'Insectes.

Les activités enzymatiques sont généralement perturbées. Par exemple, le Cd inhibe la phosphorylation oxydative chez les Algues et certains Crustacés. Par contre, il active certains enzymes du foie de *Fundulus*, de même que le tétrachlorure de carbone ceux du foie de la Truite arc-en-ciel. Le zinc active l'anhydrase carbonique de la branchie et du bourrelet palléal du Mollusque *Margaritifera*. Il active également la $\Delta_5\beta$ HSDH et la diaphorase des cellules interrénales de la Truite. Les Pb, Cr, Ni, Cd, Hg agissent sur les processus enzymatiques de l'épithélium branchial de l'Ecrevisse.

A l'heure actuelle, il n'existe pas encore de traité général d'histopathologie des Invertébrés et Vertébrés dulçaquicoles, sans doute parce que les études sont encore dispersées et fragmentaires. Invertébrés et Poissons sont cependant liés par leurs relations trophiques.

Conclusion.

Les exemples choisis parmi les Algues, les Mollusques, les Insectes, les Crustacés et les Poissons témoignent en faveur de l'intérêt d'une étude cyto et histopathologique des organismes cibles et d'une meilleure connaissance de leur biologie et de leur physiologie. Les enseignements acquis permettent une prédiction des risques encourus dans le cadre d'intoxications chroniques, dont il est primordial de connaître les conséquences à long terme sur chaque séquence du cycle vital des différents maillons de l'écosystème aquatique et indirectement sur l'Homme par le biais de toutes les utilisations possibles de l'eau, principalement l'eau de boisson et l'alimentation d'origine aquatique.

Nota : Nous remercions M^{lle} GIRE, M^{lle} PEQUIGNOT, M. CHAISEMARTIN, M. et M^{me} LHONORE qui nous ont procuré leurs diapositives personnelles pour l'illustration de cet exposé.

*U.E.R. d'Ecologie, Université de Metz,
1, rue des Récollets, 57000 Metz.*

BIBLIOGRAPHIE.

- AMEND, D. F., YASUTAKE, T., MORGAN, R. (1969). — Some Factors Influencing Susceptibility of Rainbow Trout to the Acute Toxicity of an Ethyl Mercury Phosphate Formulation (Timsan). *Trans. Amer. Fish. Soc.*, 98, 419-425.
- BAKER, J. T. P. (1969). — Histological and electron microscopical observations on copper poisoning in the winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*). *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 26, 2785-2793.
- BOUTET, C. et CHAISEMARTIN, C. (1973). — Propriétés toxiques spécifiques des sels métalliques chez *Austropotamobius pallipes pallipes* et *Orconectes limosus*. *C. R. Soc. Biol.*, 167, 12, 1933-1938.
- BOUTET, C., VIDAUD, A. et CHAISEMARTIN, C. (1974). — Niveaux de concentration et impact du fer sur la séquence métabolique chez *Orconectes limosus* (Astacidae). *C. R. Soc. Biol.*, 168, 2-3, 331-336.
- BROMAGE, N. R. et FUCHS, A. (1976). — A histological study of the response of the interrenal cells of the goldfish (*Carassius auratus*) to treatment with sodium lauryl sulphate. *J. Fish. Biol.*, 9, 529-535.

- BUCKLEY, J. A. (1976). — Acute toxicity of residual chlorine in waste-water to coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) and some resultant hematologic changes. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 33 (12), 2854-2856.
- BUCKLEY, J. A. (1977). — Heinz body hemolytic anemia in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*) exposed to chlorinated wastewater. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34 (2), 215-224.
- CAIRNS, J. et DICKSON, K. L. (1973). — Biological methods for the assessment of water quality. American Society for testing and materials, Philadelphia, 256 p.
- CHAISEMARTIN, C. (1975 a). — Analyse expérimentale comparée de la toxicité du cuivre de l'eau chez les Astacidae. *Actes du 98^e congrès national des sociétés savantes, Saint-Etienne*, 1973, I, 145-155.
- CHAISEMARTIN, C. (1975 b). — Absorption, accumulation, transferts et impact des sels métalliques chez les Astacidae. *Actes du 100^e congrès national des sociétés savantes*, fasc. 2, 345-356.
- CHAISEMARTIN, C. (1975 c). — Effets des chromates (K₂ Cr O₄) sur le métabolisme respiratoire et la balance hydro-minérale tissulaire chez deux larves-nymphes du macrobenthos dulçaquicole. *C. R. Soc. Biol.*, 169 (2), 384-390.
- CHAISEMARTIN, C. (1977 a). — Bilan de situation dynamique du cuivre chez un Lamellibranche dulçaquicole « sentinelle » : effets des matières en suspension. *C. R. Soc. Biol.*, 117 (3), 619-626.
- CHAISEMARTIN, C. (1977 b). — Aspects de l'éthotoxicologie chez les invertébrés aquatiques : modèles de réponses chez les Astacidae et les Limneides face à différents ions. *Actes du 102^e Congrès national des sociétés savantes, Limoges*, fasc. 1, 411-422.
- DELCOURT, A., VAIDEHL, B. K. et MESTRE, J. C. (1974). — Les effets toxiques de quelques dérivés mercuriels sur les algues d'eau douce et sur les meristèmes d'ail *Allium sativum* cultivés en milieu liquide. Application au problème de la pollution des eaux. *J. fr. Hydrol.*, 15, 47-53.
- EISLER, R. (1971). — Cadmium poisoning in *Fundulus heteroclitus* (Pisces : Cyprinodontidae) and other marine organisms. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 28, 9, 1225-1234.
- FALCHUK, K., FAWCETT, W. et VALLEE, B. L. (1975). — Competitive antagonism of Cadmium and zinc in the morphology and cell division of *Euglena gracilis*. *J. Submicr. Cytol.*, 7, 139-152.
- GARDNER, G. R. et YEVICH, P. P. (1970). — Histological and hematological responses of an estuarine teleost to cadmium. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 27, 12, 2185-2196.
- CIRE, M. P. et SERFATY, A. (1977). — Intoxication par le plomb chez un Téléostéen d'eau douce. Cahier du laboratoire d'Hydrobiologie de Mouteau (sous presse).
- HUGHES, G. M. et PERRY, S. F. (1976). — Morphometric study of trout gills : a light microscopic method suitable for the evaluation of pollutant action. *J. exp. Biol.*, 64, 2, 447-460.
- JEANTET, A. Y., MARTOJA, R. et TRUCHET, M. (1974). — Rôle des sphéro-cristaux de l'épithélium intestinal dans la résistance d'un insecte aux pollutions minérales : données expérimentales obtenues par utilisation de la microsonde électronique et du microanalyseur par émission ionique secondaire. *C. R. Acad. Sc., Paris*, 278 (D), 1441-1443.
- JEANTET, A. Y., BALLAN-DUFRANÇAIS, C. et MARTOJA, R. (1977). — Insects resistance to mineral pollution. Importance of Spherocrystal in ionic regulation. *Rev. Ecol. Biol. Sol.*, 14, 4, 563-582.
- LABAT, R., PEQUIGNOT, J. et CHATELET, A. (1974). — Action toxique du cuivre sur les branchies de carpe (*Cyprinus carpio* L.). *Ann. Limnol.*, 10, 1, 109-114.

- LABAT, R., LHONORE, D. et CHAISEMARTIN, C. (1977). — La contamination des chaînes biologiques d'eau douce par bioaccumulation. 22^e congrès de l'association française de Limnologie, Metz, 16-19 mai 1977, 16 p.
- LAKE, P. S. et THORP, V. J. (1974). — The gill lamellae of the shrimp *Paratya tasmaniensis* (Atyidae : crustacea) — Normal ultrastructure and changes with low levels of cadmium. *8th international congress on electron microscopy*, 2, 448-449.
- LINDEGREN, C. C. et LINDEGREN, G. (1973). — Mitochondrial modification and respiratory deficiency in the yeast cell caused by cadmium poisoning. *Mutations research*, 21, 315-322.
- LUNDE, G. (1972). — The absorption and metabolism of arsenic in fish. *Fiskeridirektoratets skrifter serie teknologiske undersøkelser*, 5, 12, 1-16.
- MAC LEAN, M. W. et WILLIAMSON, F. B. (1977). — Cadmium accumulation by the marine red alga. *Porphyra umbilicalis*. *Physiol. Plant*, 41, 268-272.
- MAC LEAY, D. et GORDON, M. R. (1977). — Leucocrit : a simple hematological technique for measuring acute stress in salmonid fish, including stressful concentrations of pulp mill effluent. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 34, 11, 2164-2175.
- MARTIN, P. N., CHAISEMARTIN, C. et BERNARD, M. (1973). — Dynamique du ¹⁴C p, p'-DDT chez *Astacus leptodactylus*. *C. R. Soc. Biol.*, 167, (5), 728-732.
- MARTOJA, R. et MARTOJA, M. (1973). — Sur des accumulations naturelles d'aluminium et de silicium chez quelques invertébrés. *C. R. Acad. Sc. Paris*, 276 (D), 2951-2954.
- MATTHIESSEN, P. et BRAFIELD, A. E. (1973). — The effects of dissolved zinc on the gills of the stickleback *Gasterosteus aculeatus* L. *J. Fish. Biol.*, 5, 607-613.
- MORGAN, M. et TOVELL, P. W. A. (1973). — The structure of the gill of the trout, *Salmo gairdneri* (Richardson). *Z. Zellforsch.*, 142, 147-162.
- NUZZI, R. (1972). — Toxicity of mercury to phytoplankton. *Nature*, vol. 237, 38-40.
- PEGUIGNOT, J. (1975). — Effet de différents toxiques (Pb, Cu, Formol, NH₄) chez la carpe : altérations histologiques des organes excréteurs et hématopoïétiques. *J. Eur. Toxicol.*, 8, 6, 361-369.
- PEGUIGNOT, J. et GIRE, M. P. (1975). — Intoxication par le nitrate de plomb chez la carpe (*Cyprinus carpio* L.). Influence sur la structure histologique de la rate et l'hématocrite. *J. Eur. Toxicol.*, 8, 3, 165-168.
- PEGUIGNOT, J., LABAT, R. et CHATELET, A. (1975). — Action du sulfate de cuivre sur les cellules à mucus de l'alevin de truite (*Salmo irideus*). *J. Eur. Toxicol.*, 8, 1, 52-56.
- RACICOT, J. G., GAUD, M. et LERAY, C. (1975). — Blood and liver enzymes in rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) with emphasis on their diagnostic use. Study of CCl₄ toxicity and a case of *Aeromonas* infection. *J. Fish. Biol.*, 7, 825-835.
- RONDELAUD, D., CHAISEMARTIN, C. et BARTHE, D. (1976). — Données histologiques et histochimiques sur le transfert de deux métaux (Fe⁺⁺⁺, Cu⁺⁺) chez *Lymnaea (Galba) truncatula* Müller. *Annls Limnol.*, 12, 3, 269-281.
- SANGALANG, G. B. et O'HALLORAN, M. J. (1973). — Adverse effects of cadmium on brook trout testis and on *in vitro* testicular androgen synthesis. *Biology of reproduction*, 9, 394-403.
- SCHWEIGER, G. (1957). — Die toxikologische Einwirkung von Schwermetallsalzen auf Fische und Fischnährtiere. *Bayerische Biologische Versuchsanstalt*, p. 54-78.
- SILVERBERG, B. A. (1976). — Cadmium-induced ultrastructural changes in mitochondria on freshwater green-algae. *Phycologia*, 15 (2), 155-159.

- SKIDMORE, J. F. et TOWELL, P. W. A. (1972). — Toxic effects of zinc sulphate on the gills of rainbow trout. *Water Research*, 6, 217-230.
- VAN COILLIE, R., ROUSSEAU, A. et OUELLET, M. (1976). — Examen des divers métaux incorporés dans des structures ostéoïdes : étude par microscopie électronique analytique. *Ann. Histochem.*, 71 (3), 179-187.
- WATSON, T. A. et MAC KEOWN, B. A. (1976). — The activity of Δ 5-3 β Hydroxysteroid Dehydrogenase Enzyme in the interrenal tissue of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri* Richardson) exposed to sub-lethal concentrations of Zinc. *Bull. Env. Contamin. et Toxicol.*, 16 (2), 173-181.
- WOBESER, G. (1975 a). — Acute toxicity of Methyl Mercury Chloride and Mercuric Chloride for Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) Fry and Fingerlings. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 32 (11), 2005-2013.
- WOBESER, G. (1975 b). — Prolonged oral administration of Methyl Mercury Chloride to Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) Fingerlings. *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 32 (11), 2015-2023.
-

TABLEAU IV.

Auteurs	Poissons	Produits	Doses	Durée-durété température	Organe cible		Abs : Absorption - Ac : Accumulation - Ex : Excrétion				+ C : Altération cytologique			M : Mitose E : Enzymes + Activation N : Necrose - Inhibition			→ action sur un mécanisme			
					Tégument	Branchies	Sang	Reins	Système enzymatique	Tube digestif			Gonade		Glandes endocrines			Muscle	Rate	Yeux
										Foie	Moqueuse digestive	Pancréas	Mâle	Gl. endocrine	C. interrénales	Comaffines	Glande pituitaire			
RACICOT-GAUD- LERAY 1975	<i>Salmo gairdneri</i> (Truite arc-en- ciel)	CCl ₄	1,33 ml/kg				+ C.		voir : Foie	+ C. N. E. : + LDH GDH GOT GPT GR										
BROMAGE et FUCHS 1976	<i>Carassius auratus</i> (Carassin doré)	Détergent anionique	2-7-10-15 mg/l	7-14-28 jours Dureté Ca : 29 mg/l t° : 12°		+ Altération primaire. nota : idem. avec nitrophénols.									+ C Activation. Libération de cortisol → os- morégulation- stress	+				
LUNDE 1972	<i>Salmo gairdneri</i>	Arsenic			+ Abs.	+ Abs. et Ac					+ Ac									+ A _e
EISLER 1971	<i>Fundulus</i>	Arsenic				+ C + Mucus														
PEQUIGNOT 1975	<i>Cyprinus carpio</i> (Carpe)	Formol	40 mg/l			N + Hémorragies	+ Anémie	+ Hémorragies											+ Anémie	
PEQUIGNOT 1975	<i>Cyprinus carpio</i> (Carpe)	Ammoniaque	17 mg/l			+ N des lamelles, formation de nodules.	+ Anémie	+ Lyse des tubules											+ Anémie	
BROMAGE et FUCHS 1976	<i>Carassius auratus</i> (Carassin doré)	ZnSO ₄ 7H ₂ O	2-3 mg/l	7 jours Dureté Ca : 29 mg/l t° : 12°											+ C. Activation. Libération de cortisol → stress					
MATTHIESSEN et BRAFIELD 1973	<i>Gasterosteus aculeatus</i> (Epinoche)	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0,5 à 1 mg/l eau distillée — 2 à 6 mg/l eau dure	8 à 72 heures Dureté totale : 282 mg/l t° : 10-14°		+ C Epithélium ave exfoliation et coalescence. Ex : Ionocytes	+ C. Défor- mation des érythrocytes													
WATSON et Mc KEOWN 1976	<i>Salmo gairdneri</i> (Truite arc-en- ciel)	ZnSO ₄ 7H ₂ O	0,248 - 0,528 1,14 mg/l	50 jours, t° 10°					Voir : Cellules interrénales						+ C. Activation. E + Δ 5-3 β-HSDH Diaphorase → stress		+ Action supposée			
SKIDMORE et TOWELL 1972	<i>Salmo gairdneri</i> (Truite arc-en- ciel)	ZnSO ₄ 7H ₂ O	40 mg/l	Durée : 1-3-7 jours 45-55 mg/l CaCO ₃ t° : 15°		+ C. Epithélium + Mucus en pilastre Système vasculaire	+ Granulo- cytes													
NAKATANI 1966	<i>Salmo gairdneri</i> (Truite arc-en- ciel)	⁶⁵ Zn				+ Ex		+ Ex												
CHAISE-MARTIN 1975 b	Loche	Zn				+ Ac												+ Ac		
LABAT et al. 1977		Zn						+ Ac		+ Ac										
SCHWEIGER 1957	Truite arc-en-ciel. Saumon de fon- taine. Carpe. Tanche.	Cd	4 à 20 mg/l selon l'espèce		+ N + Mucus	+ C. N. + mucus + Ex		+ Ex		+ Ex	+ Ex									
GARDNER et YEVICH 1970	<i>Fundulus</i>	Cd	50 ppm	1 h à 20 h		+ C (20 h) N-M Hyperplasie Invasion lymphocytaire.	+ Baisse des éosinophiles	+ C. N. (12 h)			+ C. N. (1 h)									
EISLER 1971	<i>Fundulus</i>	Cd				+ C		+ C		+ C.E. : + Phos- phatase-alcaline Phosphatase- acide Xanthine- oxydase RNase Catalase	+ C									
SANGALANG et O'HALLORAN 1973	<i>Salvelinus fontinalis</i> (Saumon de fontaine)	Cd	10 à 25 ppb	24 heures CaCO ₃ : 20 mg t° de 8 à 12°									+ Hémor- ragie	Destruction des cellules limi- tantes des lo- bules testiculai- res = C de Leydig → sté- roïdogénèse						
SCHWEIGER 1957	Truite arc-en-ciel. Saumon - Carpe Tanche.	Hg	0,25 à 1,1 mg/l selon l'espèce		+ C. N. + Mucus	+ C. N. + Mucus														
AMEND YASUTAKE- MORGAN 1969	<i>Salmo gairdneri</i>	Phosphate Ethyl- mercure EMP	0,125 ppm/l	1 heure		+ C. N. Hyperplasie nota : la toxicité augmente avec les ions Cl.														
WOBESER 1975 a	<i>Salmo gairdneri</i>	Chlorure de méthyl- mercure CH ₃ HgCl	Nourriture à 4, 8, 16, 24 ppm/kg	105 jours t° 10		+ C. N. Hyperplasie (par injection, inflammation de la pseudo-branchie)	+ Cellules sédimenta- bles (PCV augmente)	+ C Œdème des capsules de BOWMAN										+ Ac		
WOBESER 1975 a	<i>Salmo gairdneri</i>	Méthyl- mercure CH ₃ Hg	Nourriture à 4, 8, 16, 24 ppm/kg	105 jours t° 10		+ C. N. Hyperplasie Fusion des lamelles	+ (PCV augmente)	+ C. Par in- jection œdème des capsules de BOWMAN. Dé- générescence tubulaire												
WOBESER 1975 b	<i>Salmo gairdneri</i>	CH ₃ Hg Cl Hg	0,02 à 0,125 mg/l selon temps et taille — 0,9 mg/l			+ C. Hyperplasie M. Desquamation. Pas de mucus + C. N. Mucus														
PEQUIGNOT-GIRE 1975 complément GIRE- SERFATY 1977	<i>Cyprinus carpio</i> (Carpe)	Pb (nitrate) Cl ₂	10 mg/l dont 3,8 mg/l restent en solution	6 semaines t° 20°		+ mastocytes (77)	+ C Anémie voir rate + Hémato- crite + Macro- phages (77)	+ Ac. tissu lymphoïde intertubulaire + Macrophages		+ Macrophages (77)	+ Intestin moyen Ac	+ Macro- phages (77)						+ Baisse du glycogène	+ C. Ac dans pulpe blanche (macrophages?) Pulpe rouge : Diminution des érythrocytes	
PEQUIGNOT 1975	Carpe	Pb (nitrate)	3,5 mg/l	2 à 6 semaines		+ C. N. de l'épithélium. Action sur les mastocytes		+ Prolifération de parasites + Augmenta- tion des ma- crophages		+ Prolifération de parasites									+ C. N. Pulpe rouge. Augmentation des macropha- ges + Prolifération de parasites	
BAKER 1969	<i>Pseudo- pleuronectes</i> (mer)	Cu	180, 1000, 3200 ppb/l			+ C. N. épithéliale Augmentation des cellules à mucus. Formation de ionocytes ?	Anémie hémolytique	+ N		+ Dégénéres- cence gras- seuse									+ N	
LABAT - PEQUIGNOT- CHATELET 1974	<i>Cyprinus carpio</i> (Carpe)	Cu	0,5 à 1,5 mg/l	48 heures		+ Diminution du nombre des cellules à mucus. Déplétion.														
PEQUIGNOT - LABAT- CHATELET 1975	Alevin de truite	Cu	0,1 mg/l		+ Diminu- tion du nbre des cellules à mucus						+ Diminu- tion du nbre des cellules à mucus									
PEQUIGNOT 1975	<i>Cyprinus carpio</i> (Carpe)	Cu (sulfate)	0,2 mg/l	3 semaines		+ C. Œdème branchial.		+ Prolifération des parasites + Hémorragies rénales		+ Prolifération de parasites ? ou corps de dé- générescence									+ N de la pulpe rouge : hausse des ma- crophages + Prolifération de parasites	
SCHWEIGER 1957	Truite arc-en-ciel. Saumon. Carpe - Tanche	Ni Co Mn	30 à 50 mg/l selon l'espèce		+ C. N. + Mucus	+ C. N. Augmentation du mucus		+ Ex pour Mn		+ Ex pour Mn	+ Ex pour Mn									
HILL et FROMM 1968	<i>Salmo gairdneri</i>	Chrome													+ C Activation Libération de cortisol					

Printed in France.