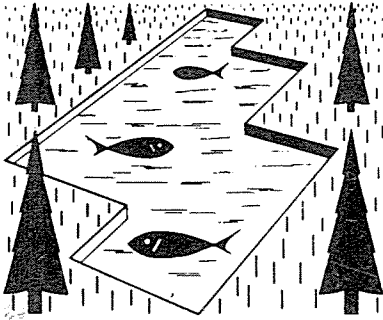


FISHERIES BRANCH LIBRARY
FIDI NF 220 52174



**CRITÈRES DE QUALITÉ DES EAUX
POUR LES POISSONS D'EAU DOUCE EUROPÉENS**

Rapport sur le chlore et les poissons d'eau douce



COMMISSION EUROPÉENNE CONSULTATIVE POUR LES PÊCHES DANS LES EAUX INTÉRIEURES
ORGANISATION DES NATIONS UNIES POUR L'ALIMENTATION ET L'AGRICULTURE
ROME, 1973

COMMISSION EUROPÉENNE CONSULTATIVE POUR LES PÊCHES DANS LES EAUX INTÉRIEURES

Les documents de la CECPI sont publiés dans quatre séries:

Rapport de la CECPI

Rapport de chaque session, publié en français et en anglais.

Document technique de la CECPI

Des documents scientifiques et techniques sélectionnés comprenant certains documents de travail présentés aux sessions de la Commission ou de ses sous-commissions. Publiés en français et en anglais.

Document occasionnel de la CECPI

Documents d'intérêt général pour la Commission, publiés dans la langue d'origine, soit en français, soit en anglais.

Nouvelles de la CECPI

Notes et commentaires sur les activités de la CECPI et de ses Etats Membres, de la FAO et d'autres organisations: une tribune pour l'échange d'informations, d'idées et d'expériences. Des exemplaires de ces documents peuvent être obtenus en s'adressant au:

Secrétaire
Commission européenne consultative pour les pêches dans les eaux intérieures
Département des pêches
FAO
Via delle Terme di Caracalla
00100 Rome, Italie

CRITERES DE QUALITE DES EAUX POUR LES POISSONS D'EAU DOUCE EUROPEENS

Rapport sur le chlore et les poissons d'eau douce

préparé par

Commission européenne consultative pour les pêches dans les eaux intérieures
Groupe de travail sur les critères de qualité des eaux
pour les poissons d'eau douce européens

PREPARATION DE CE DOCUMENT

L'historique de la préparation de ce document est exposé dans l'"Avant-Propos" du rapport.

Ce document a été préparé par le Groupe de travail sur les critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens de la Commission européenne consultative pour les pêches dans les eaux intérieures (CECPI). Le rapport est publié dans cette série où ont déjà paru les sept premiers rapports du Groupe de travail: "Rapport sur les solides finement divisés et les pêches intérieures", EIFAC Tech.Pap., (Fr)(1):27 p., 1964; "Rapport sur les valeurs extrêmes du pH et les pêches intérieures", EIFAC Tech.Pap., (Fr)(4):24 p., 1968; "Rapport sur la température de l'eau et les pêches intérieures basé essentiellement sur la documentation slave", EIFAC Tech.Pap., (6):32 p., 1968; "Références bibliographiques sur les effets de la température de l'eau sur le poisson", EIFAC Tech.Pap., (8):8 p., 1969; "Rapport sur l'ammoniac et les pêches intérieures"; EIFAC Tech.Pap., (Fr)(11):13 p., 1971; "Rapport sur les phénols monohydratés et les pêches intérieures", Doc.Tech.CECPI., (15):20 p., 1973; "Rapport sur l'oxygène dissous et les pêches intérieures, Doc.Tech.CECPI, (19):12 p., 1973

Distribution:

Département des pêches de la FAO
Fonctionnaires régionaux des
pêches de la FAO
Liste de distribution de la
CECPI

Référence bibliographique:

CECPI. Groupe de travail sur
les critères de qualité des
eaux pour les poissons d'eau
douce européens (1973)
Doc.Tech.CECPI, (20):12 p.
Critères de qualité des eaux pour les
poissons d'eau douce européens.
Rapport sur le chlore et les poissons
d'eau douce
(Water quality criteria for European
freshwater fish. Report on chlorine
and freshwater fish)

FAO - European Inland Fisheries Advisory
Commission. Report of working party.
Inland water - Europe. Water quality
criteria - chemistry and toxicology
of chlorine. Poisoning, lethal and
sublethal effects on coarse fish and
salmonids - embryo, larvae, fry,
fingerling and adult, behaviour and
spawning. Effects on aquatic inverte-
brates and plants. Effects of environ-
mental factors - dissolved oxygen, pH,
temperature, hardness, salinity.
Selected bibliography.

TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
AVANT-PROPOS	iv
RESUME	viii
1. INTRODUCTION	1
2. CHIMIE DU CHLORE DANS L'EAU	1
Terminologie	2
3. TOXICOLOGIE DU CHLORE DANS L'EAU	3
(a) Mode d'action et symptômes de l'intoxication aiguë	3
(b) Effets létaux sur les poissons	3
(i) Embryons, larves et fretin	3
(ii) Salmonidés: juvéniles et adultes	3
(iii) Poissons blancs: juvéniles et adultes	4
(c) Effets des facteurs écologiques	4
(i) Oxygène dissous	4
(ii) pH	5
(iii) Température	5
(iv) Dureté	5
(v) Salinité	5
(d) Effets sublétaux sur le poisson	5
(i) Comportement	5
(ii) Frai	5
(iii) Goût et odeur	6
(e) Effets de mélanges de chlore avec d'autres poisons	6
(f) Effets sur les invertébrés et les plantes aquatiques	6
4. OBSERVATIONS EN MILIEU NATUREL	7
5. RESUME DES DONNEES	7
6. CRITERES PROVISOIRES DE QUALITE DES EAUX	8
7. REFERENCES	10

AVANT-PROPOS

Ce rapport constitue le huitième document sur les critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens préparé pour la Commission européenne consultative pour les pêches dans les eaux intérieures (CECPI), organisation intergouvernementale comprenant 23 Etats-Membres. La Commission a concentré ses efforts sur l'établissement de critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens depuis sa seconde Session, Paris (1962)^{1/}, où elle a pris acte de la recommandation de la Conférence des Nations Unies sur les problèmes de pollution des eaux en Europe (1961) - "que la CECPI prenne l'initiative pour l'établissement de critères dans ce domaine"^{1/}.

Ainsi qu'il a été mentionné dans les sept premiers rapports^{2/}, la Commission a approuvé que "l'exploitation rationnelle d'un système fluvial exige qu'il soit fourni de l'eau d'une qualité appropriée pour chaque utilisation qui en est faite ou que l'on entend en faire, et que cette qualité soit atteinte ou maintenue normalement par le contrôle de la pollution. Il était donc nécessaire de connaître les normes requises pour chaque utilisation particulière, afin de déterminer le degré nécessaire de lutte contre la pollution et de prévoir l'effet probable de déversements plus importants ou nouveaux effluents. On a fait remarquer que les normes de qualité pour l'eau de boisson ont été bien définies par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) et que pour certaines utilisations agricoles ou industrielles des normes ont aussi été définies. Cependant, les critères de qualité de l'eau pour les poissons n'ont pas reçu l'attention qu'ils méritent. Beaucoup trop souvent, on a considéré que l'eau convient bien aux poissons tant qu'il n'y a pas de mortalité évidente pouvant être attribuée à des polluants connus. La dégradation de l'habitat aquatique par pollution et la diminution de la production annuelle et la production subséquente de la pêche sont souvent passées inaperçues.

Il a donc été décidé, en s'appuyant sur ces arguments, que la Commission entreprenne l'établissement de critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens. Ce travail consistait en un examen critique de la documentation et, très probablement, en expériences pour éclaircir les contradictions et combler les lacunes des connaissances, suivi par des recommandations visant à fixer les exigences désirables pour les organismes aquatiques ou divers groupes d'organismes, en ce qui concerne les différentes qualités de l'eau. Les critères définitifs devraient être publiés et faire l'objet d'une large diffusion."

-
- 1/ Voir respectivement: Rapport de la CECPI, Deuxième Session, 1962, pages 7-8. Nations Unies (1961) Conférence sur les problèmes de la pollution des eaux en Europe, tenue à Genève du 22 février au 3 mars 1961, documents soumis à la Conférence, volumes I-III, Nations Unies, Genève, 600 p.
- 2/ Rapport sur les solides finement divisés et les pêches intérieures, EIFAC Tech.Pap., (Fr) (1):27 p., 1964
 Rapport sur les valeurs extrêmes du pH et les pêches intérieures, EIFAC Tech.Pap., (Fr) (4):26 p., 1968
 Rapport sur la température de l'eau et les pêches intérieures basé essentiellement sur la documentation slave, EIFAC Tech.Pap., (Fr) (6):32 p., 1968
 Références bibliographiques sur les effets de la température de l'eau sur le poisson, EIFAC Tech.Pap., (8):8 p., 1969
 Rapport sur l'ammoniac et les pêches intérieures, EIFAC Tech.Pap., (Fr) (11):13 p., 1971
 Rapport sur les phénols monohydratés et les pêches intérieures, Doc.Tech.CECPI., (15):20 p., 1973
 Rapport sur l'oxygène dissous et les pêches intérieures, Doc.Tech.CECPI., (19):12 p., 1973

Pour accomplir cette tâche, la Commission a créé à sa Deuxième Session, un groupe de travail d'experts, ceux-ci étant choisis sur la base de leurs connaissances des exigences physiques, chimiques et biologiques des poissons d'eau douce européens.

Ce groupe de travail a préparé un premier rapport sur les solides finement divisés et les pêches intérieures, mentionné plus haut, qui a été soumis à la Troisième Session de la Commission, Scharfling am Mondsee, 1964, où il a reçu le plein accord de la Commission^{3/}.

La Troisième Session suggéra ensuite que les études du groupe de travail soient axées sur: la température de l'eau (y compris un examen critique des effets de déversements d'eau chaude); l'oxygène et le gaz carbonique dissous; le pH; les substances toxiques comprenant les métaux lourds; les phénols et les pesticides et herbicides.

La priorité a été donnée à l'étude sur la température élevée et le groupe de travail prépara un premier texte sur ce sujet au cours de l'exercice biennal qui suivit (Au cours de la Troisième Session, les activités de la Commission ont été réorganisées sous trois Sous-Commissions dont l'une, la Sous-Commission III - Le poisson et l'eau polluée - englobe toutes les activités de la CECPI dans le domaine de la pollution. Le Groupe de travail sur les critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens dépend, depuis lors, de cette Sous-Commission.)

La Quatrième Session de la Commission, Belgrade, 1966, conclut, à la suite de l'examen de la documentation sur les effets de la température sur la vie aquatique, qu'une telle étude requerrait plus de travail que les ressources de la Commission ne le permettaient à cette époque. Entre-temps, elle suggéra qu'un rapport sur les valeurs extrêmes du pH soit préparé pour la prochaine session de la CECPI et qu'un rapport sur l'oxygène dissous soit mis en oeuvre lorsque des fonds s'avèreraient disponibles pour engager un consultant à temps plein^{4/}.

Le rapport sur les valeurs extrêmes du pH et les pêches intérieures (voir note 2) a été publié en 1968, à temps pour être présenté à la Cinquième Session de la CECPI (Rome, mai 1968) qui l'a approuvé à l'unanimité^{5/}.

Au cours de sa Cinquième Session, la Commission ré-examina, de nouveau, l'ordre des priorités des prochains thèmes d'études et décida d'entreprendre des examens critiques de la documentation sur les effets de l'ammoniac et des phénols sur les poissons d'eau douce.

Elle recommanda, également, que des directives quant à ses prochains travaux dans le domaine du contrôle de la pollution des eaux, y compris la continuité de l'établissement de critères de qualité des eaux, soient demandés au Symposium FAO/CECPI sur la nature et l'étendue des problèmes de pollution des eaux affectant les pêches intérieures en Europe, qui devait se tenir à Jablonna, Pologne, les 15-16 mai 1970, précédant immédiatement la Sixième Session de la CECPI.

La Cinquième Session approuva, en outre, un premier texte du rapport sur la température de l'eau et les pêches intérieures basé essentiellement sur la documentation slave. Le rapport a été publié en novembre 1968, troisième de la série de la CECPI sur les critères de qualité des eaux, et a été suivi, en 1969, de la quatrième publication de la série, Références bibliographiques sur les effets de la température de l'eau sur le poisson (voir note 2 pour les deux rapports).

3/ Rapport de la CECPI, Troisième Session, 1964, page 27

4/ Rapport de la CECPI, Quatrième Session, 1966, page 28

5/ Rapport de la CECPI, Cinquième Session, 1968, pages 35-36

A la suite du Symposium de Jablonna^{6/}, la Sixième Session de la CECPI, Cracovie, 1970, ré-examina, de nouveau, le programme de la Commission relatif aux critères de qualité des eaux^{7/}. Après avoir noté qu'un rapport sur l'ammoniac était presque terminé, elle approuva la continuation de l'étude sur les phénols et des travaux courants commencés par le groupe de travail sur le cuivre, le zinc et le mercure, et recommanda que soient ajoutés les cyanides, détergents, chlore et hydrocarbures comme thèmes d'études ultérieures. Elle recommanda, également, la reprise des travaux sur la température de l'eau et la préparation d'un examen critique fondé sur le rapport sur l'oxygène dissous, à l'échelle mondiale, préparé pour la FAO^{8/}.

Après la Sixième Session de la CECPI, le Groupe de travail de la CECPI a publié les rapports sur l'ammoniac et les phénols monohydratés soit les cinquième et sixième études de critères de qualité des eaux de cette série de la CECPI ^{2/}. Tous deux ont été présentés à la Septième Session de la CECPI (Amsterdam, 1972 ^{9/}) qui les a approuvés à l'unanimité.

Depuis la Septième Session, le Groupe de travail de la CECPI sur les critères de qualité des eaux a préparé des premiers textes sur l'oxygène dissous, le chlore et le zinc qui ont été étudiés lors de ses 11ème et 12ème réunions à, respectivement, Rome (15-17 janvier 1973) et Karlsruhe (25 mai 1973). Le rapport sur l'oxygène dissous a paru en tant que septième étude de cette série ^{2/} et sera présenté à la Huitième Session de la CECPI, qui sera tenue au R.-U. (Aviemore, Ecosse, 6-10 mai 1974). Le Groupe de travail continue sa recherche de documentation sur le mercure et le cuivre, et est en train de terminer son étude sur le zinc et les pêches intérieures.

Cette étude, la huitième, est sur le chlore et les poissons d'eau douce. Les spécialistes ci-après ont été nommés au Groupe de travail sur les critères de qualité des eaux en vue de la préparation de ce rapport:

M. J.S. Alabaster	(Royaume-Uni), <u>Organisateur</u>
M. D. Calamari	(Italie)
M. M. Grande	(Norvège)
M. T.B. Hasselrot	(Suède)
M. R. Lloyd	(Royaume-Uni)
M. A.W. Lysak	(Pologne)
M. W.K. Besch	(Allemagne, Rép.Féd. d')

Secrétariat de la FAO:

M. J.-L. Gaudet - Secrétaire de la CECPI par intérim

La rédaction de ce rapport sur le chlore et les poissons d'eau douce a été, en grande partie, menée à bien par le "Water Pollution Research Laboratory (Stevenage, R.-U.)", qui a préparé le premier texte pour être soumis à l'examen des membres du Groupe de travail.

Le Groupe de travail s'est basé, pour l'exécution de ce rapport, sur les mêmes règles fondamentales que celles formulées lors de la préparation de la première étude, à savoir, que:

-
- ^{6/} Holden, A.V. et R. Lloyd (1972), Symposium sur la nature et l'étendue des problèmes de pollution des eaux affectant les pêches continentales en Europe. Synthèse des rapports nationaux, EIFAC Tech.Pap., (16):20 p.
- ^{7/} Rapport de la CECPI, Sixième Session, 1970, p. 31
- ^{8/} Doudoroff, Peter and Dean L. Shumway (1970), Dissolved oxygen requirements of fresh-water fishes. FAO Fish. Tech.Pap., (86):291 p.
- ^{9/} Rapport de la CECPI, Septième Session, 1973, p. 42

"les critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce doivent permettre le déroulement complet de tous les cycles de vie. En plus, ils ne doivent pas provoquer dans l'eau des cours d'eau des conditions telles que la chair des poissons prenne une odeur et un goût étrangers ou que ces poissons soient amenés à désertter une partie du cours d'eau qu'il fréquenteraient autrement ou donner lieu à l'accumulation de substances nocives chez les poissons à un degré tel qu'il y aurait danger à les consommer. Les facteurs indirects tels que ceux qui affectent les organismes servant de nourriture aux poissons doivent aussi être considérés si ces organismes jouent un rôle important."

Ce rapport sera présenté à la huitième Session de la CECPI, qui se tiendra à Aviemore, Ecosse, Royaume-Uni.

La Septième Session de la CECPI (voir note 9/) suggéra comme prochains thèmes possibles d'examen le cadmium et le plomb.

RESUME

Sous la forme d'acide hypochloreux et de chloramines, le chlore est une substance toxique pour la vie aquatique. Les poissons blancs, les organismes invertébrés et les plantes lui opposent généralement une meilleure résistance que les salmonidés; toutefois, la production de jeunes Daphnia diminue lorsque la concentration atteint 0,0035 mg/l (0,0004-0,0014 mg HOCl/l).

D'après les données limitées actuellement accessibles, il semble que des teneurs en chlore supérieures à 0,008 mg de HOCl/l puissent être nocives ou létales dans un intervalle de quatre jours, tant pour les salmonidés que pour les poissons blancs, alors que des espèces sensibles ont supporté une concentration de 0,004 mg HOCl/l pendant cinq jours, en présentant toutefois un certain ralentissement de leur activité normale.

La toxicité du chlore pour le poisson s'accroît lorsque la teneur en oxygène dissous diminue et elle n'est guère modifiée par une augmentation de la salinité jusqu'à concurrence de 50 pour cent d'eau de mer; mais, par ailleurs, les données sur l'influence de la température, du pH et de la dureté de l'eau sont rares ou inexistantes.

Dans des conditions expérimentales, le comportement d'évitement de la truite arc-en-ciel est peu prononcé à une concentration de chlore de 0,001 mg/l (0,0002-0,0008 mg HOCl/l), et nettement marqué à 0,001-0,008 mg HOCl/l.

Le chlore est trop réactif pour persister longtemps dans la plupart des cours d'eau, aussi peut-on fixer la dose limite tolérée par le poisson à un niveau plus rapproché des concentrations létales que si ce n'était pas le cas, d'autant plus que le comportement d'évitement manifesté par le poisson est susceptible de lui assurer une protection supplémentaire en l'éloignant des zones à teneur élevée en chlore. Aussi, propose-t-on de fixer à titre provisoire une limite supérieure acceptable de 0,004 mg HOCl/l: en effet, elle ne devrait entraîner que peu ou pas du tout de mortalité du poisson, n'aurait peut-être qu'un effet mineur sur son comportement et ne serait pas suffisamment élevée pour porter préjudice à la majorité des organismes servant à son alimentation. La quantité de chlore total correspondant à cette concentration varie en fonction de la température et du pH de l'eau, comme indiqué dans le tableau ci-après:

Température (°C)	pH			
	6	7	8	9
5	0,004	0,005	0,011	0,075
25	0,004	0,005	0,016	0,121

Comme le chlore peut réagir avec le sulfocyanure pour produire des concentrations létales d'acide cyanhydrique et/ou de chlorure de cyanogène et comme, en présence de phénols, des concentrations de chlore d'à peine 0,001 mg/l sont susceptibles de laisser des traces dans la chair du poisson, il pourrait être nécessaire de fixer une limite supérieure inférieure à 0,004 mg HOCl/l en la présence de ces autres poisons.

1. INTRODUCTION

(1) On a recours à la chloruration (à l'aide de chlore élémentaire (Cl_2), d'hypochlorites ou de chloramines) pour désinfecter l'eau de boisson et en éliminer les saveurs et odeurs indésirables. A cette fin, on ajoute à l'eau suffisamment de chlore (tel que défini au paragraphe 7) pour obtenir un léger excédent destiné à la destruction des bactéries pathogènes, mais celui-ci peut rendre l'eau municipale impropre au maintien en vie des poissons. On utilise aussi la chloruration dans l'industrie textile et l'industrie de la pâte à papier aux fins du blanchiment et de l'élimination des agrégats d'algues et de bactéries, ainsi que dans le traitement des eaux d'égout pour en atténuer l'odeur, réduire la densité des algues accumulées sur les lits filtrants ou limiter le nombre de bactéries présentes dans les effluents déversés dans les eaux de surface. La quantité de chlore ajoutée aux eaux d'égout ne suffit pas à oxyder complètement les déchets (c'est-à-dire que la "demande" en chlore n'est pas entièrement satisfaite) et il n'y a aucun excès de chlore susceptible de compromettre les processus biologiques indispensables au traitement ou bien d'empêcher la vie dans les eaux où sont déversés les effluents. On ajoute également du chlore aux eaux de refroidissement et autres eaux résiduaires industrielles pour détruire les algues ou les bactéries qui forment des dépôts dans les tours de refroidissement et les systèmes associés, et on en additionne l'eau des piscines dans un but de désinfection. Des études bibliographiques sur les effets du chlore sur le poisson ont été faites précédemment par Southgate (1948), Doudoroff et Katz (1950), Liebmann (1960), McKee et Wolf (1963), Jones (1964) et Zillich (1972), et la documentation relative aux organismes d'eau douce autres que les bactéries a été récapitulée par Evins (1972).

2. CHIMIE DU CHLORE DANS L'EAU

(2) Lorsque du chlore élémentaire ou des composés tels que les hypochlorites, comme par exemple de l'hypochlorite de calcium, sont ajoutés à une eau dont le pH se situe à peu près au-dessus de 5, il intervient rapidement des réactions aboutissant à la formation d'acide hypochloreux (HOCl) en équilibre avec des ions hypochlorites (OCl^-), ainsi qu'il ressort des deux séries d'équations ci-après:



(La présence du chlore élémentaire extrêmement fugitif (Cl_2) peut être négligée dans la présente étude.)

(3) Etant donné que le composé chimique toxique qui se trouve en solution dans l'eau en cas d'empoisonnement par le chlore est probablement l'acide hypochloreux - qui est un acide faible - la toxicité de toute solution contenant du chlore dépend donc de son pH, car celui-ci a une influence marquée sur le degré de dissociation. Les constantes d'ionisation (pK_a) à des températures situées entre 0°C et 30°C sont données dans le Tableau 1, et les proportions de HOCl et OCl^- qui se trouvent en solution à 5°C et 25°C à des valeurs du pH situées entre 5 et 9 sont indiquées dans la Figure 1.

Tableau 1. Constantes d'ionisation (pK_a) pour l'acide hypochloreux dans l'intervalle de températures 0°C - 30°C (Sillén et Martell, 1964)

Température ($^\circ\text{C}$)	0	5	10	15	20	25	30
pK_a	7,83	7,75	7,69	7,63	7,58	7,54	7,50

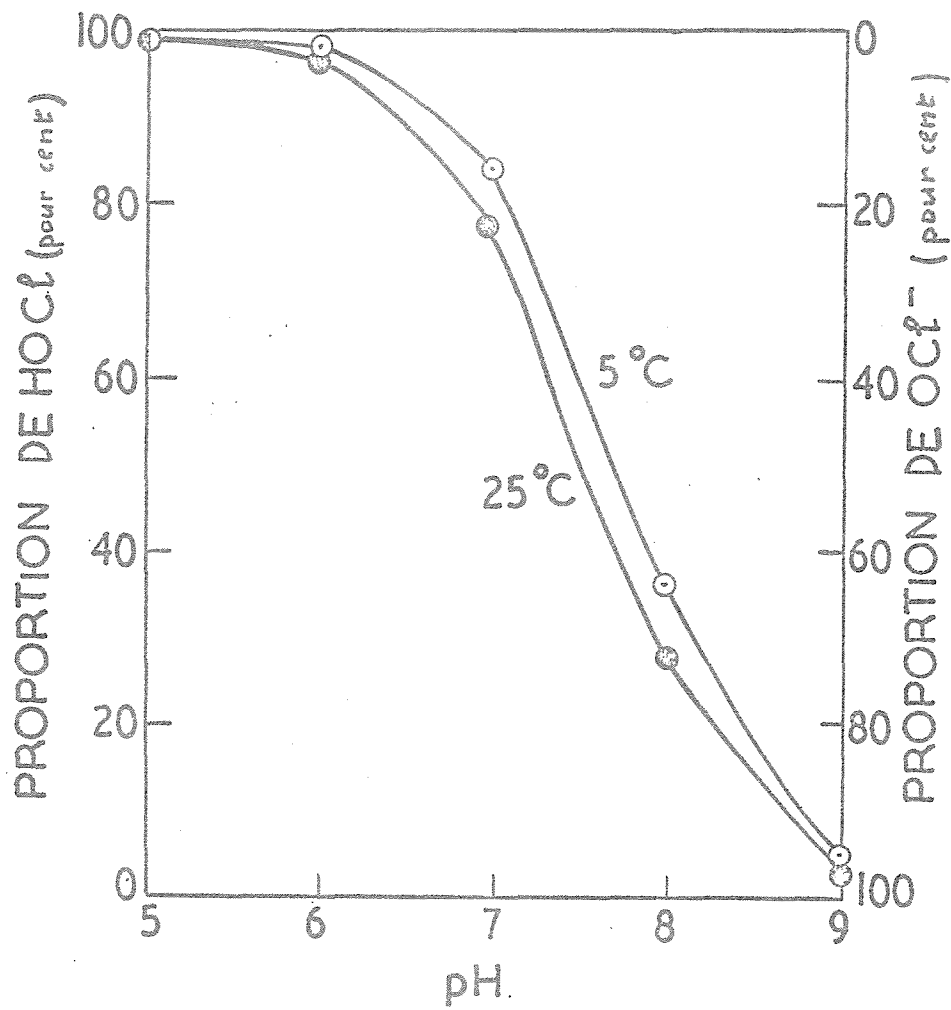
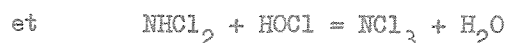


Fig. 1 Proportion de HOCl et OCl⁻ en solution à des températures de 5°C et 25°C, à pH situé entre 5 et 9

(4) Lorsque le pH est inférieur à 7,5, et par conséquent à toutes les températures auxquelles sont susceptibles de vivre la majorité des espèces européennes de poissons, la plus grande partie du chlore éventuellement présent se trouve sous une forme toxique. Lorsque du chlore (sous la forme HOCl) est ajouté à de l'eau contenant de l'ammoniac, il donne initialement naissance, en l'absence d'autres substances oxydables, à de la monochloramine (NH₂Cl), de la dichloramine (NHCl₂), de la trichloramine ou trichlorure d'azote (NCl₃), ou à un mélange de ces composés. La formation des dérivés les plus substitués est, selon Palin (1950), favorisée par un accroissement de l'acidité de la solution et un accroissement du rapport pondéral chlore/azote ammoniacal; selon la description donnée par cet auteur, il intervient les réactions ci-après:



(5) Dans les eaux non acides, une adjonction supplémentaire de chlore donne probablement comme produits principaux des ions chlorure et de l'azote élémentaire. Il est difficile de prévoir la concentration à laquelle apparaîtra tel ou tel composé, mais il est vraisemblable que dans les eaux naturelles, à pH normal, ils se forment seulement des quantités relativement petites de trichlorure d'azote (poison connu pour avoir des effets systémiques chroniques). Il apparaît cependant que les chloramines parviennent lentement à l'équilibre avec l'acide hypochloreux présent à faible concentration, ce qui explique peut-être leur toxicité pour les poissons.

(6) Comme les eaux d'égout contiennent presque toujours de l'ammoniac, il ne faut pas étudier les effets du chlore sans tenir compte de ceux des chloramines qui, bien que moins toxiques que celui-ci, sont plus persistantes. L'acide hypochloreux et l'ion hypochlorite se décomposent lentement en solution, avec formation d'ion chlorure et d'oxygène - processus qui s'accélère sous exposition à la lumière solaire - et ces derniers sont plus facilement éliminés par la matière organique que le chlore et les chloramines.

Terminologie

(7) Lorsque le chlore présent dans l'eau se trouve sous une forme lui permettant de jouer le rôle d'oxydant, il peut être décrit dans la littérature par les termes "libre", "disponible", "actif" ou "résiduaire", ou encore par quelque combinaison de ces adjectifs. Lorsqu'il est présent sous la forme de chloramines, il peut également être dénommé chlore "lié". Il est commode de classer ces diverses formes comme suit:

- (a) chlore actif à l'état libre: chlore présent sous la forme d'un mélange d'ions hypochlorite (OCl⁻) et d'acide hypochloreux (HOCl) en équilibre;
- (b) chlore actif en combinaison: chlore présent dans les chloramines ou d'autres composés possédant une liaison N-Cl; et
- (c) chlore actif total: en pratique la somme de (a) et (b).

(8) Pour plus de brièveté, on utilise dans le présent rapport le terme "chlore" pour désigner le chlore actif total lorsqu'il n'est pas possible, ou nécessaire, de définir celui-ci plus exactement; ce terme ne s'applique cependant pas au chlore élémentaire (Cl₂). Les noms des composés spécifiques sont indiqués chaque fois que possible. Il est à noter que certains d'entre eux, par exemple, les dichloroisocyanurates (utilisés pour désinfecter l'eau des piscines) peuvent réagir sous la forme de chlore actif libre dans des méthodes d'analyse chimique d'utilisation courante.

(9) Une estimation de la concentration éventuelle d'acide hypochloreux est donnée chaque fois que possible, mais la chose n'a pas toujours été faisable car bien des rapports omettent de donner des détails suffisants quant à la source de chlore et à la température et au pH des solutions.

3. TOXICOLOGIE DU CHLORE DANS L'EAU

(a) Mode d'action et symptômes de l'intoxication aiguë

(10) Divers auteurs ont décrit comment les poissons placés dans une solution chlorée sont pris d'agitation avant de perdre l'équilibre et de mourir. On ne dispose d'aucune donnée sur les causes chimiques immédiates de la toxicité du chlore pour le poisson, mais on sait que les enzymes cellulaires contiennent des groupements sulphydryles (-SH) qui sont indispensables à leur activité et qui sont oxydés presque aussitôt par le chlore, aussi bien chez les animaux que chez les plantes, avec abolition irréversible de l'activité enzymatique (Green et Stumpf, 1946) en raison de la force de la liaison covalente formée (Albert, 1965). Cela pourrait expliquer pourquoi, après la perte d'équilibre, le poisson ne se rétablit pas lorsqu'on le remet dans de l'eau pure (Taylor et James, 1928; Panikkar, 1960; Pike, 1971).

(b) Effets létaux sur les poissons

(i) Embryons, larves et fretin

(11) Blake (1930) a mis en évidence une légère augmentation de la mortalité (1,2 pour cent contre 0,6 pour cent chez les témoins) lors de l'éclosion d'oeufs embryonnés de truite brune (Salmo trutta) mis à incuber à 3-5°C et placés pendant 30 min dans une solution contenant 10 mg/l de chlore.

(12) En général, les larves nouvellement écloses sont plus réceptives que les oeufs. Selon Grande (1966), dans une eau très douce (14 mg de CaCO₃ par litre) ayant une température de 9°C et un pH de 6,4, la présence de chlore à raison de 0,07 mg/l n'est pas mortelle dans les trois jours pour des alevins de saumon (Salmo salar) qui y sont placés dès après absorption complète du sac vitellin. Mais, à la concentration de 0,1 mg/l, la période moyenne de survie est de 1,2 jour, tandis qu'elle est de 8 h à 0,13 mg/l et de 3 h seulement à 0,3 mg/l. (Dans ces conditions, la concentration maximale de HOCl serait d'environ 94 pour cent de la concentration de chlore indiquée.) Scheuring et Statter (1950-51) signalent également que des truites sont mortes en 16 à 24 h à la concentration de 0,1 mg/l, à 10-12°C.

(13) M. Grande (communication personnelle) a également relaté des pertes d'alevins de truite brune, de truite arc-en-ciel (Salmo gairdneri), d'omble chevalier (Salvelinus alpinus) et de saumon Atlantique placés dans de l'eau du robinet chlorée à raison d'environ 0,1 mg/l (quantité équivalant à environ 0,09 mg/l de HOCl) pendant une période de plusieurs jours. Du fretin de "truite" a été décimé en 48 h par une dose de "chlore" de 0,05-0,06 mg/l, mais une concentration de 0,01 mg/l ne s'est pas révélée fatale au cours d'une période de deux semaines (Coventry, Shelford et Miller, 1935).

(ii) Salmonidés: juvéniles et adultes

(14) Des juvéniles et des nourrans de truite arc-en-ciel sont morts en 2 h à une concentration de chlore de 0,3 mg/l, et en 4-5 h à 0,25 mg/l (Taylor et James, 1928). A teneur en oxygène dissous de 10-11 mg/l et température de 15°C et pH de 6,3 ou 7,0, un mélange de HOCl, NH₂Cl et NHCl₂ avec prédominance du premier est plus toxique qu'un mélange où prédomine soit NH₂Cl, soit une combinaison de mono- et dichloramines; dans le cas où HOCl est le constituant principal, la concentration létale pour la truite arc-en-ciel au bout d'un intervalle de temps donné est d'environ un tiers de celle du mélange où prédomine NH₂Cl. La CL50 au bout de 7 jours d'une solution contenant du chlore présent essentiellement sous la forme de NH₂Cl est de 0,08 mg/l (Merkens, 1958). Des études effectuées sur des saumons argentés (Oncorhynchus kisutch) âgés de 4 mois ont montré qu'à pH 7,6 une teneur en chlore de 0,2 mg/l (≅ 0,1 mg/l HOCl) est fatale à 76 pour cent des sujets au bout d'environ 19 h (Department of Fisheries,

Washington, 1960). Pike (1971) a constaté que des truites brunes (de 12,5 à 18 cm de long) exposées pendant seulement 2 min à des concentrations de chlore supérieures à 0,04 mg/l, à la température de 11°C, meurent toutes dans les 24 heures. En cas d'exposition continue, les périodes médianes de survie sont les suivantes: moins de 7,5 h à 0,03 mg/l, moins de 10,5 h à 0,02 mg/l et moins de 45,5 h à 0,01 mg/l (0,008 mg HOCl/l). Dandy (1972) a montré qu'à des concentrations de chlore de 0,35, 0,08 et 0,04 mg/l (0,0034 mg HOCl/l), les durées de survie de l'omble de fontaine (Salvelinus fontinalis) sont respectivement de 9, 18 et 48 h, tandis qu'à la concentration de 0,005 mg/l (0,004 mg HOCl/l), les sujets survivent au moins 7 jours.

(iii) Poissons blancs: juvéniles et adultes

(15) Zimmerman et Berg (1934) ont observé que des cyprins dorés (Carassius auratus) meurent au bout de 8 h lorsqu'ils sont placés dans une eau contenant 1,0 à 1,5 mg/l de chlore, renouvelée avec un débit de 4 l/min; à pH 7,9, température de 25°C et teneur en chlore de 2 mg/l (0,64 mg HOCl/l), la mort intervient en 17-48 heures. Wakabayashi et Imaoka (1968) ont signalé la perte de cyprins dorés dans des solutions non renouvelées contenant initialement 0,6 à 0,7 mg/l de chlore. A la concentration de 1 mg/l (0,32 mg HOCl/l), certains sujets sont morts au bout de 96 h (Ellis, 1937), et à celle de 0,1-0,2 mg/l ils ont survécu pendant une période "prolongée" (Schaut, 1939). Taylor et James (1928) ont également indiqué qu'au bout de 42 h ces poissons n'étaient pas affectés par le chlore présent à raison de 0,5 mg/litre.

(16) Ebeling (1931) a étudié la mortalité de six espèces de poisson au cours d'une période de quatre jours, dans des étangs dont l'eau avait une température de 4,5-7°C, un pH de 7,2-7,3 et une teneur nominale en chlore d'environ 1,0 mg/l (0,7 mg HOCl/l), la concentration en oxygène dissous étant "constante"; le brochet (Esox lucius) est mort dans les 30 h, la truite arc-en-ciel au bout de 37 à 40 h et le rotengle (Scardinius erythrophthalmus) au bout de 41 à 82 h; par ailleurs, environ 80 pour cent des carpes communes (Cyprinus carpio), 20 pour cent des tanches (Tinca tinca) et une seule des anguilles (Anguilla anguilla) ont cessé de vivre après plus de 100 heures. Zimmerman et Berg (1934) ont également observé qu'une teneur en chlore de 1,2 mg/l est mortelle pour des carpes communes de grande taille. Scheuring et Stetter (1950-51) ont signalé qu'à la concentration constante de 0,15 mg/l, des truites sont mortes dans les 14 jours, tandis que la tanche, la carpe commune, le carrassin (Carassius carassius), le brochet et le sandre (Lucioperca lucioperca) ont survécu de 6 à 37 jours sans préjudice apparent.

(17) Ainsi donc, il semble que les poissons blancs résistent beaucoup mieux que les salmonidés à de fortes concentrations de chlore.

(c) Effets des facteurs écologiques

(i) Oxygène dissous

(18) On a observé que la période médiane de survie de la truite arc-en-ciel dans une eau ayant une teneur donnée en chlore (ajouté sous la forme d'hypochlorite de sodium) est plus brève lorsque la concentration en oxygène dissous est faible que lorsqu'elle est élevée (Department of Scientific and Industrial Research, 1958). Des truites placées dans des solutions ayant un pH de 7,4 et contenant environ 0,1 mg/l de chlore (ce qui est la plus faible concentration expérimentée et équivaut à une concentration maximale en HOCl d'à peu près 0,06 mg/l) sont mortes en 1 000 min lorsque la teneur en oxygène dissous était égale à 90 pour cent de l'indice de saturation de l'air (ISA); par contre lorsque cette dernière était de 40 pour cent de l'ISA, elles sont mortes en 80 minutes. A pH 6,3 (ce qui correspond à une concentration d'à peu près 0,09 mg HOCl/l), les durées de survie ont été respectivement de 700 et 53 minutes. (Il est possible qu'une certaine partie du chlore ait réagi avec l'ammoniac excrété par la truite et ait été présente sous la forme de chloramines.)

(ii) pH

(19) On n'a aucun renseignement relatif aux effets du pH sur la toxicité d'une concentration donnée de HOCl moléculaire pour le poisson, mais les données de Merkens (1958) sur la toxicité des mélanges de chlore et de chloramines pour la truite arc-en-ciel font penser que le pH n'a aucune influence.

(iii) Température

(20) On ne dispose d'aucune donnée relative à l'influence de la température sur la toxicité du chlore, mais il a été suggéré que le degré maximal de toxicité pourrait être atteint aux basses températures (Ebeling, 1931).

(iv) Dureté

(21) On ne dispose d'aucun renseignement concernant l'influence de la dureté de l'eau sur la toxicité du chlore pour le poisson.

(v) Salinité

(22) A une dose d'halogène total (qui serait en partie du brome déplacé par le chlore) consistant en 1,34 mg/l de chlore total et 0,95 mg/l de "chlore à l'état libre" (0,19 mg HOCl/l), la truite arc-en-ciel placée dans une eau à 50 pour cent d'eau de mer (salinité de 33,34 g/1 000 g), à pH de 8,3, a une période médiane de survie de 52 min (Department of Scientific and Industrial Research, 1958). On en a conclu que la toxicité des halogènes par suite de l'adjonction de chlore à "l'eau de mer" n'est que légèrement inférieure à celle du chlore dans l'eau douce. On a observé que les doses "critiques" (il y a lieu de croire létales) de chlore dans l'eau de mer sont de 0,05 mg/l pour le saumon royal (*Oncorhynchus tshawytscha*) et le saumon rose (*O. gorbuscha*), tandis qu'une concentration de 0,09 mg/l entraîne la mort du saumon argenté en 216 h (Department of Fisheries, Washington, 1960).

(d) Effets sublétaux sur le poisson(i) Comportement

(23) Le poisson peut éviter ou au contraire être attiré par des eaux contenant du chlore à faible concentration; Sprague et Drury (1969) ont constaté que la truite arc-en-ciel manifeste un léger comportement d'évitement vis-à-vis de l'eau contenant du chlore à raison de 0,001 mg/l, mais que cette réaction devient plus marquée à 0,01 mg/l (CL50 atteinte au bout de 12 jours), et très forte à 1 mg/l (CL50 atteinte au bout de 4 h); toutefois, à la dose de 0,1 mg/l (CL50 au bout de 4 jours), la truite manifeste une préférence pour l'eau chlorée. Comme il a été indiqué que le pH des solutions d'essai variait entre 7,0 et 8,4, le pourcentage de HOCl présent pouvait se situer entre 80 et 20 pour cent de la concentration nominale en chlore. La raison de ce comportement de la truite est inconnue, mais Dandy (1972), qui a mesuré l'activité de l'omble de fontaine en présence de chlore, a constaté que celle-ci s'accroît à la dose de 0,35 mg/l (CL50 atteinte au bout de 9 h) et à celle de 0,08 mg/l (CL50 atteinte au bout de 18 h), et il a suggéré que, grâce à cette réaction, le poisson pourrait se déplacer à l'aveuglette vers une eau plus pure - à condition d'en avoir le choix - tandis qu'à la concentration de 0,04 mg/l (0,034 mg HOCl/l) (CL50 atteinte au bout de deux jours) il y a ralentissement de l'activité, d'où moindres chances de migration vers une eau pure. La comparaison avec des sujets témoins a également fait apparaître une diminution d'activité plus importante chez les spécimens placés dans une eau contenant 0,005 mg/l de chlore (0,004 mg HOCl/l) (concentration qui n'est pas létale pour le poisson au bout de 7 jours) pendant plus de 5 jours.

(ii) Frai

(24) Les seules données précises relativement aux effets du chlore sur le frai figurent dans les travaux inédits d'Arthur et Eaton (cités par Zillich, 1972) qui ont constaté qu'à des

concentrations d'à peine 0,085 mg/l la présence de chloramines inhibe presque complètement le frai du vairon à grosse tête (Pimephales promelas), et qu'à celle de 0,043 mg/l il y a diminution du nombre de pontes par femelle et du nombre d'oeufs par ponte.

(iii) Goût et odeur

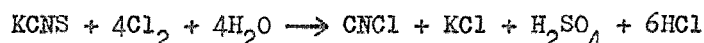
(25) Aucun indice ne permet de penser que la seule présence de chlore puisse laisser des traces dans la chair du poisson, mais, si l'eau contient également des phénols, la formation de phénols chlorés peut entraîner altérations, même à des concentrations d'à peine 0,001 mg/l (CECPI, 1972).

(e) Effets de mélanges de chlore avec d'autres poisons

(26) Schaut (1939) a observé qu'après chloruration de solutions contenant du sulfocyanure de potassium à raison de 6 mg/l, les "vairons" présentent les mêmes modifications du comportement que lorsqu'ils sont placés dans une solution contenant 3,6 mg/l de cyanure de sodium; à son avis, il faut voir là une conséquence de la production de cyanure d'hydrogène:



Allen, Blezard et Wheatland (1948) ont étudié le même phénomène et ont conclu que le poison est plus vraisemblablement du chlorure de cyanogène:



(27) On a toutefois constaté au cours de ces deux études que le poisson qui a perdu l'équilibre dans de tels mélanges guérit s'il est replacé dans une eau ne contenant aucun élément toxique, ce qui fait penser que l'effet observé n'est pas dû au chlore, qui donne typiquement lieu à une réaction irréversible (voir par. 10), mais plutôt au cyanure (poison entraînant une réaction réversible).

(28) On ne dispose d'aucune donnée sur l'effet du chlore en la présence d'autres poisons avec lesquels il ne réagit pas chimiquement.

(f) Effets sur les invertébrés et les plantes aquatiques

(29) Nous nous abstenons de citer une grande partie des informations disponibles en ce qui concerne les invertébrés, car elles se rapportent à des organismes dépourvus d'importance pour l'alimentation du poisson et à des concentrations nominales dont l'effet est rapidement mortel (Ewins, 1972).

(30) Dans les études faites sur les crustacés, Cyclops sp. a été engourdi, mais a retrouvé son comportement normal au bout de 24 h d'exposition à une concentration de chloramines de 1 mg/l (Phillips, 1966); et, dans de l'eau douce contenant 0,5 mg/l de chlore, Daphnia magna est morte en 72 h (Ellis, 1937). Dans le cas de Gammarus pseudolimnaeus mis en contact avec du chlore pendant une période de 15 semaines, dans une eau à température de 23°C, pH situé entre 7,2 et 8,6, concentration en oxygène dissous de 5,2 à 10,4 mg/l et dureté totale de 44 à 48 mg/l, on a observé une réduction marquée du taux de survie et une absence totale de production d'alevins pour une concentration de chlore de 0,035 mg/l, et une diminution du nombre d'alevins produits par femelle à la concentration de 0,0035 mg/l (0,0004-0,0014 mg HCl/l) (Arthur et Eaton, 1971). Asellus sp. a été engourdi, mais a repris une activité normale au bout de 24 h d'exposition à 2 mg/l de chloramine; et pourtant, il semble qu'il n'ait pas été affecté par une exposition à 2 mg/l de chlore à l'état libre pendant la même période (Phillips, 1966). La population de A. aquaticus a été inhibée par une concentration de 0,5 mg/l (Holland, 1956). Les "écrevisses" ont été tuées par une dose de chloramines de 1,2 mg/l (Coventry, Shelford et Miller, 1935).

(31) Le taux de mortalité des larves de Chironomus spp. a été de 85 pour cent au bout de 24 h à une teneur en chlore de 0,65 mg/l (Buchman, 1932).

(32) En ce qui concerne les mollusques, Potamopyrgus jenkinsi semblait avoir cessé de vivre après exposition à 100 mg/l de chlore pendant 24 h, mais certains spécimens ont repris connaissance lorsqu'ils ont été transférés dans de l'eau douce (English, 1958).

(33) On a peu de données relatives aux effets du chlore sur les végétaux supérieurs dont les poissons sont susceptibles de se nourrir, mais Zimmerman et Berg (1934) ont signalé que Cabomba caroliniana et Elodea canadensis deviennent légèrement chlorotiques au bout de six jours d'exposition à une teneur en chlore de 3 mg/l (mais cela n'est pas le cas pour des concentrations plus faibles). Toutefois, les concentrations se sont abaissées jusqu'à n'être plus que de 5 pour cent des valeurs nominales dans les 3 h suivant la préparation des solutions, ce qui fait penser que les plantes pourraient être plus sensibles que ces essais ne l'indiquent. Des doses initiales de 0,25-0,3 mg/l de chlore ont enrayé la croissance des algues (McKee et Wolf, 1963).

(34) Il apparaît donc clairement que la résistance de la plupart des espèces d'invertébrés et de certains végétaux à des doses de chlore d'une toxicité aiguë est supérieure à celle des poissons.

4. OBSERVATIONS EN MILIEU NATUREL

(35) On a signalé que le chlore a causé de nombreuses pertes de poisson dans le fleuve Spree (Ebeling et Schröder, 1929) et qu'il était en très grande partie responsable de la décimation des populations de la plupart des espèces vivant dans des cours d'eau situés immédiatement en aval de décharges d'effluents chlorés contenant à peu près 1 mg/l de chlore (Tsai, 1968).

(36) Barsch et al. (1971) ont décrit les effets létaux des effluents chlorés provenant des installations municipales de traitement des eaux résiduaires mises en place à l'intention de petits groupes de population humaine (il s'agissait donc probablement en grande partie d'eaux usées d'origine domestique) sur des truites arc-en-ciel emprisonnées dans des nasses. En l'absence de chloruration, on n'a observé aucune perte de poisson pendant une période d'expérimentation de 4 à 5 jours, mais, en la présence de chlore, la mortalité au cours de la même période a été de plus de 60 pour cent; notons en particulier que 90 à 100 pour cent des truites ont été détruites dans un unique cours d'eau où la concentration moyenne en chlore était de 0,07 mg/l, et 55 pour cent d'entre elles en des lieux où la concentration moyenne était de 0,014 mg/l; mais elles ont toutes survécu à une teneur moyenne de 0,002 mg/l. L'évaluation des valeurs de la CL50 au bout de 90 h dans deux des cours d'eau a donné respectivement des chiffres de 0,014 et 0,029 mg/l (ces résultats sont toutefois en contradiction avec les données présentées qui semblent contenir des erreurs). Des expériences analogues (J.S. Alabaster, communication personnelle) effectuées sur la même espèce dans les effluents chlorés d'une fabrique de résine synthétique ont permis d'évaluer la CL50 au bout de 24 h à 0,07 mg/l (0,05 mg HOCl/l).

(37) On ne dispose d'aucune donnée sur les effets du chlore ou des effluents chlorés sur les pêches (potentiel, possibilités de capture ou rendements) dans les zones de déversement de ces eaux résiduaires; on sait seulement, comme indiqué plus tôt, que les lieux de pêche peuvent être ainsi soit perdus soit très localement déplacés.

5. RESUME DES DONNEES

(38) Lorsqu'il est présent sous la forme d'acide hypochloreux et de chloramines, le chlore est toxique pour les animaux aquatiques et, contrairement à ce qui se passe avec d'autres poisons, comme par exemple HCN, les poissons atteints d'une perte de l'équilibre ne retrouvent pas leur état normal lorsqu'ils sont placés dans une eau pure (par. 10).

(39) La plus faible concentration de chlore qui ait été signalée comme létale pour la truite est de 0,01 mg/l (0,008 mg/HOCl/l) dans des conditions de laboratoire (par. 3), et de 0,014 mg/l en milieu naturel (par. 5); par ailleurs, les doses non létales les plus élevées, n'ayant apparemment aucun effet défavorable sur les espèces réceptives de poisson au bout de cinq jours, sont de 0,005 mg/l (0,004 mg HOCl/l) pour l'omble de fontaine étudié en

laboratoire (par. 14) - on observe toutefois une certaine diminution de l'activité normale à cette concentration (par. 23) - et de 0,002 mg/l pour la truite brune étudiée en milieu naturel (par. 36). Les données recueillies sur le terrain sont toutefois très éparées.

(40) Les doses de chlore ayant un effet toxique aigu sont plus faibles lorsqu'il y a réduction de la concentration en oxygène dissous; par contre elles ne sont guère modifiées du fait d'un accroissement de la salinité jusqu'à concurrence de 50 pour cent d'eau de mer, mais les données sur l'influence de la température, du pH et de la dureté de l'eau sont rares ou font complètement défaut.

(41) On a constaté que, dans des conditions expérimentales, la truite arc-en-ciel présente un léger comportement d'évitement lorsque la concentration en chlore est de 0,001 mg/l (0,0002-0,0008 mg HOCl/l).

(42) Les poissons blancs (par. 15 et 16), les invertébrés servant à l'alimentation des poissons (par. 30-32) et les plantes aquatiques (par. 33) résistent généralement mieux au chlore que les salmonidés, bien que l'on ait noté une réduction de la production de jeunes Daphnia à la dose de 0,0035 mg/l (0,0004-0,0014 mg HOCl/l) (par. 30).

(43) Le chlore peut réagir avec le sulfocyanure avec apparition de concentrations létales de cyanure d'hydrogène et/ou de chlorure de cyanogène (par. 26).

(44) En la présence de phénols, des concentrations de chlore d'à peine 0,001 mg/l sont susceptibles de laisser des traces dans la chair du poisson (par. 25).

6. CRITERES PROVISOIRES DE QUALITE DES EAUX

(45) D'après les données limitées actuellement accessibles, il semble que des teneurs en chlore supérieures à 0,008 mg HOCl/l puissent être nocives ou létales pour les salmonidés dans un intervalle de quatre jours, et qu'une teneur d'à peine 0,001-0,008 mg HOCl/l puisse donner lieu à des réactions d'évitement marquées.

(46) Par ailleurs, des espèces réceptives de poisson ont résisté à une dose de 0,004 mg HOCl/l pendant cinq jours, bien que l'on ait observé un certain ralentissement de leur activité normale.

(47) Le chlore est trop réactif pour persister longtemps dans la plupart des cours d'eau et, par conséquent, la limite à ne pas dépasser pour la survie du poisson peut être fixée à un niveau plus proche du niveau léthal qu'il n'en serait autrement le cas, d'autant plus que le comportement d'évitement manifesté par le poisson est susceptible de lui assurer une protection supplémentaire en l'éloignant des zones de forte concentration en chlore. Par conséquent, on propose de fixer provisoirement la dose limite supérieure à 0,004 mg HOCl/l; de ce fait, le taux de mortalité devrait être très faible ou réduit à zéro; cette concentration n'aurait peut-être qu'un effet mineur sur le comportement du poisson, tout en n'étant pas assez faible pour porter préjudice à la majorité des organismes servant à l'alimentation du poisson.

(48) La quantité de chlore total correspondant à une concentration de 0,004 mg HOCl/l varie en fonction de la température et du pH de l'eau, comme indiqué dans le Tableau 2.

Tableau 2. Valeurs approximatives de la concentration totale en chlore correspondant à 0,004 mg HOCl/l (mg/l)

Température (°C)	pH			
	6	7	8	9
5	0,004	0,005	0,011	0,075
25	0,004	0,005	0,016	0,121

7. REFERENCES

- Albert, A., Selective toxicity. Londres, Methuen. Surveyor and Municipal City Engineer, 1965 pp. 105, 298
- Allen, L.A., N. Blezard et A.B. Wheatland, Formation of cyanogen chloride during chlorination of certain liquids; toxicity of such liquids to fish. J.Hyg., 46:184-93 1948
- Arthur, J.W. et J.G. Eaton, Chloramine toxicity to the amphipod Gammarus pseudolimnaeus and the fathead minnow (Pimephales promelas). J.Fish.Res.Board Can., 28:1841-5 1971
- Barsch, R.E. et al., Chlorinated municipal waste toxicities to rainbow trout and fathead minnows. Environmental Protection Agency. Washington DC, U.S. Government Printing Office, Water Pollut.Control Res.Ser., (19050 G22, 10/7):49 p. 1971
- Blake, I., The external disinfection of fish ova with reference to prophylaxis of furunculosis. Rep.Fish.Board Scotl.Salm.Fish., (11):10 p. 1930
- Buchmann, W., Chironomus control in bathing establishments, swimming pools and water supplies by means of chlorine and copper. Z.Gesundheitstech.Städtehyg., 24:235-42 (en allemand) (résumé dans J.Am.Water Works Assoc., 25:1317) 1932
- Coventry, F.L., V.E. Shelford et L.F. Miller, The conditioning of a chloramine treated water supply for biological purposes. Ecology, 16:60-6 1935
- Dandy, J.W.T., Activity response to chlorine in the brook trout Salvelinus fontinalis (Mitchill). Can.J.Zool., 50:405-10 1972
- Department of Fisheries, Washington, Toxic effects of organic and inorganic pollutants on young salmon and trout. Res.Bull.State Wash., (5) 1960
- Department of Scientific and Industrial Research, Water pollution research 1957. Londres, HMSO, p. 25 1958
- Doudoroff, P. et M. Kats, Critical review of literature on the toxicity of industrial wastes and their components to fish. 1. Alkalies, acids, and inorganic gases. Sewage Ind.Wastes, 22:1432-58 1950
- Ebeling, G., Einfluss der Abwasserchlorung auf Fischgewasser. Vom Wasser, 5:201-12 1931
- Egeling, G. et T. Schröder, Free active chlorine in water and its effect on fish and other water organisms. Z.Fisch., 27:417, 457 1929
- EIFAC, Report on monohydric phenols and inland fisheries. EIFAC Tech.Pap., (15):18 p. 1972
- Ellis, M.M., Detection and measurement of stream pollution (related principally to fish life). Fish.Bull.U.S.Bur.Fish., 48:365-437 1937
- English, E., Biological problems in distribution systems; infestations of mains water. Proc.Soc.Water Treatm.Exam., 7:127 1958
- Evins, C., The toxicity of chlorine to freshwater organisms other than bacteria. Water Res. Assoc.ILR, (223):22 p. 1972
- Grande, M., Om bruk av klorert vann i fiskeanlegg (Use of chlorinated water in fish hatcheries). Jakt-Fiske Friluftsliv., 95:507-8 1966

- Green, D.E. et P.K. Stumpf, The mode of action of chlorine. J.Am.Water Works Assoc., 38:
1946 1301-5
- Holland, G.J., The eradication of Asellus aquaticus from water supply mains. J.Inst.Water
Eng., 10:221-41
1956
- Jones, J.R.E., Fish and river pollution. Londres, Butterworths, 203 p.
1964
- Liebmann, H., Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-biologie. 2. München, 1146 p.
1960
- McKee, J.E. et H.W. Wolf, Water quality criteria. Cal.State Water Qual.Control Board
Publ., (3-A):548 p.
1963
- Merkens, J.C., Studies on the toxicity of chlorines and chloramines to the rainbow trout.
1958 Water Waste Treatm., 7:150
- Palin, A.T., A study of the chloro-derivatives of ammonia and related compounds with
1950 special reference to their formation in the chlorination of natural or polluted
waters. Paper presented to the Public Works Municipal Services Congress, 1950
Pap. 18
- Panikkar, B.M., Low concentrations of calcium hypochlorite as a fish and tadpole poison
1960 applicable for use in partly drained ponds and other small bodies of water.
Prog.Fish-Cult., 22:117-20
- Phillips, J.H., The discovery and control of live organisms in the Great Yarmouth water
1966 supply. J.Inst.Water Eng., 20:207
- Pike, D.J., Toxicity of chlorine to brown trout Salmo trutta Linn. N.Z.Wildl., 1971(33):
1971 4 p.
- Schaut, G.G., Fish catastrophes during droughts. J.Am.Water Works Assoc., 31:771-822
1939
- Scheuring, L. et H. Stetter, Versuche über die Wirkung von Chlor auf Fische und andere
1950-51 Wassertiere. Vom Wasser, 18
- Sillén, L.G. et A.E. Martell, Stability constants. Spec.Publ.Chem.Soc., Lond., (17)
1964
- Southgate, B.A., Treatment and disposal of industrial waste waters. Londres, HMSO
1948
- Sprague, J.B. et D.E. Drury, Avoidance reactions of salmonid fish to representative
1969 pollutants. Adv.Water Pollut.Res., 2(1):169-79
- Taylor, R.S. et M.C. James, Treatment for removal of chlorine from city water for use in
1928 aquaria U.S. Bureau of Fisheries, Doc. No. 1045. Rep.U.S.Comm.Fish., App. 7:
322-7
- Tsai, C., Effects of chlorinated sewage effluents on fish in the upper Patuxent River,
1968 Maryland. Chesapeake Sci., 9:83-93

Wakabayashi, T. et M. Imaoka, Effect of residual chlorine in tap-water on goldfish.
1968 Yamanashi Daigaku Kogakubu Kepkyu, (19):118-22

Zillich, J.A., Toxicity of combined chlorine residuals to freshwater fish. J. Water Pollut. Control Fed., 44:212-20

Zimmerman, P.W. et R.O. Berg, Effects of chlorinated water on land plants, aquatic plants, and goldfish. Contrib. Boyce Thompson Inst., (6):39-49

Documents publiés dans la présente série

- EIFAC/T1** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens. Rapport sur les solides finement divisés et les pêches intérieures (1964).
- EIFAC/T2** Maladies des poissons. Notes présentées à la troisième session de la CECPI par J. Heyl, H. Mann, C.J. Rasmussen et A. van der Struik (Autriche, 1964).
- EIFAC/T3** Alimentation dans l'élevage de la truite et du saumon. Communications présentées à un symposium, quatrième session de la CECPI (Belgrade, 1966).
- EIFAC/T4** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens. Rapport sur les valeurs extrêmes du pH et les pêches intérieures (1968).
- EIFAC/T5** Organisation de l'administration des pêches intérieures en Europe, par Jean-Louis Gaudet (Rome, 1968).
- EIFAC/T6** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens. Rapport sur la température de l'eau et les pêches intérieures basé essentiellement sur la documentation slave (1968).
- EIFAC/T7** Evaluation économique de la pêche sportive dans les eaux continentales, par Ingemar Norling (Suède, 1968).
- EIFAC/T8** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens. Références bibliographiques sur les effets de la température de l'eau sur le poisson (1969).
- EIFAC/T9** Récents développements dans la nutrition de la carpe et de la truite. Communications présentées à un symposium, cinquième session de la CECPI (Rome, 1968).
- EIFAC/T10** Etude comparée des mesures législatives et administratives régissant les échanges internationaux de poissons vivants et d'œufs de poisson, par F.B. Zenny, Service de législation de la FAO (Rome, 1969).
- EIFAC/T11** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens. Rapport sur l'ammoniac et les pêches intérieures (Rome, 1970).
- CECPI/T12** Aliments du saumon et de la truite et leur distribution (1973).
- EIFAC/T13** Eléments de la théorie de détermination de l'âge des poissons d'après les écailles. Le problème de validité (1971).
- EIFAC/T14** Consultation de la CECPI sur les engins et techniques de pêche à l'anguille (Rome, 1971).
- CECPI/T15** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens: rapport sur les phénols monohydratés et les poissons d'eau douce (1973).
- EIFAC/T16** Symposium sur la nature et l'étendue des problèmes de pollution des eaux affectant les pêches continentales en Europe. Synthèse des rapports nationaux (1972).
- CECPI/T17** Rapport du symposium sur les principales maladies transmissibles des poissons en Europe et la lutte contre celles-ci, organisé par la FAO/CECPI avec le soutien de l'OIE (Rome, 1973).
- CECPI/T17
Suppl. 1** Les principales maladies transmissibles des poissons en Europe et en Amérique du Nord: examen de mesures nationales et internationales sur la lutte contre ces maladies, par P.E. Thompson, W.A. Dill et G. Moore (1973).
- EIFAC/T17
Suppl. 2** Symposium sur les principales maladies transmissibles des poissons en Europe et la lutte contre celles-ci: exposés des groupes et communications appa-
rentées (1973).
- CECPI/T18** Le rôle instrumental de l'administration dans la lutte contre la pollution des eaux, par G.K. Moore (Rome, 1973).
- CECPI/T19** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens: rapport sur l'oxygène dissous et les pêches intérieures (Rome, 1973).
- CECPI/T20** Critères de qualité des eaux pour les poissons d'eau douce européens: rapport sur le chlore et les poissons d'eau douce (1973).

