

UNIVERSITE DU QUEBEC

THESE

présentée

à

L'Institut National de la Recherche Scientifique (Eau)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

Michel Lalonde, Bac. en Biologie

Evaluation du contrôle de la qualité des

eaux au moyen de méthodes biologiques

1980

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très sincèrement mon directeur de thèse, le Dr. Denis Couillard, pour sa collaboration continue, ses judicieux conseils et son attention soutenue qu'il a manifesté tout au long de ce travail.

RESUME

L'importance des méthodes biologiques pour l'évaluation relative de la toxicité sous certaines conditions standards ou encore la prédiction des effets écologiques des multiples agresseurs toxiques ne sont sûrement pas négligeables. Après avoir décrit l'ampleur des répercussions de la pollution de l'environnement par les substances toxiques, le présent travail critique les différents types de bio-essais servant à évaluer la toxicité des rejets et du milieu aquatique.

Même insérés dans une stratégie d'intervention globale visant à contrer l'agression toxique, les bio-essais léthaux et sous-léthaux conservent une signification limitée. Les différentes modalités d'utilisation de ces tests ne permettent pas, suite à l'obtention des résultats une extrapolation valable des effets possibles dans le milieu aquatique. Il demeure donc nécessaire de mettre sur pied des bio-essais intégrant le maximum de variables possibles préférentiellement au niveau des écosystèmes.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
REMERCIEMENTS	i
RESUME	ii
LISTE DES FIGURES	v
Chapitre 1	1
1. INTRODUCTION	2
1.1 Le problème	2
1.2 Objectifs de l'étude	3
Chapitre 2	5
2. L'AGRESSION TOXIQUE	6
2.1 Mise en évidence du problème des toxiques	6
2.2 Elaboration de la problématique	7
2.3 Scénarisation des agressions dans le système des eaux douces	12
2.4 L'intervention pour contrer l'agression toxique	14
Chapitre 3	16
3. SURVEILLANCE BIOLOGIQUE	17
3.1 Définition et description des grands types	17
3.2 Objectifs de la surveillance biologique	18
3.3 Bio-essais comme moyens de contrôle de la toxicité	20
3.3.1 Base des bio-essais	20
3.3.2 Types des bio-essais	21
3.4 Bio-essais léthaux	21
3.4.1 Bio-essais léthaux en milieu statique	22

3.4.2	Bio-essais léthaux en milieu semi-continu	24
3.4.3	Bio-essais léthaux en milieu continu	25
3.4.4	Bio-essais léthaux in situ	26
3.4.5	Bio-essais léthaux in situ (laboratoire mobile)	27
3.5	Bio-essais sous-léthaux	27
3.5.1	Bio-essais sous-léthaux de type physiologique et biochimique	29
3.5.2	Bio-essais sous-léthaux de type de comportement	30
3.5.2.1	Comportement individuel	30
3.5.2.2	Comportement d'une population	31
3.5.2.3	Comportement d'une biocénose	32
	Chapitre 4.	33
4.	ORGANISMES UTILISES DANS LES BIO-ESSAIS	34
4.1	Les poissons	34
4.2	Les algues	38
4.3	Les invertébrés	40
4.3.1	Zooplancton	42
	Chapitre 5.	44
5.	DISCUSSIONS	45
	Chapitre 6.	57
6.	CONCLUSIONS	58
	Chapitre 7.	62
7.	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	63
Annexe A:	Définition de certains termes	70

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>	
2.1	Système global de l'agression toxique	9
2.2	Chemins principaux d'agents d'agression toxique dans la biosphère	11
2.3	Principaux flux d'agents d'agression toxique au travers des composantes d'un écosystème d'eau douce	13
3.1	Schématisme générale de la surveillance biologique reliée à l'évaluation de la pollution toxique	19

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

CHAPITRE 1

1. INTRODUCTION

.

1.1 Le problème

L'ensemble des multiples activités socio-économiques auxquelles l'homme s'adonne depuis de nombreuses années modifient inévitablement l'environnement; en fait ces actions affectent le milieu support par la dégradation de l'air, de l'eau et du sol.

Parmi ces trois composantes de l'environnement, l'eau est probablement l'élément qui a été le plus utilisé par les nombreuses activités humaines qui ont été, jusqu'à aujourd'hui, peu conséquentes des répercussions possibles. Le besoin vital de l'eau ainsi que ses propriétés particulières de laquelle découle de nombreuses utilisations industrielles et autres en fait un élément des plus susceptibles à une diminution sensible de sa qualité.

Le problème de la pollution des eaux comprenant à la fois les composantes environnementales, technologiques, économiques et sociales est généré par un système complexe comprenant l'ensemble de ces dimensions. Il en va de même pour le sous-système de l'agression toxique qui est une partie très importante du système de la pollution de l'eau. En effet suite à des activités urbaines, agricoles et industrielles très intenses, une portion toujours croissante de la pollution consiste en la mise en circulation de matières toxiques dans les cours d'eau (Henderson, 1957). Les quantités émises, leur diversité et leur persistance à long terme fait que ces substances sont depuis peu une

préoccupation importante. S'attaquant directement aux processus physiologiques et biochimiques des organismes vivants, elles menacent directement l'équilibre écologique.

Etant donné l'importance de protéger la vie, il devient essentiel de bien cerner la problématique de la pollution toxique et de mettre au point des outils efficaces à représenter de façon juste et réelle les phénomènes reliés à l'action des toxiques sur le vivant. Plusieurs méthodes utilisant une grande variété d'organismes comme les algues, larves de crustacés, poissons, diatomés benthiques ou même les microcosmes aquatiques (Amiard, 1976; Brown, V.M., 1971; Forsberg, 1972; Lin, 1977; Sugiura, 1976) sont disponibles afin de mesurer l'intensité de la pollution par les toxiques; cependant leur utilisation semble insuffisante à évaluer de façon exacte les effets négatifs de la pollution toxique. Il devient important de développer des méthodes améliorées de détection et de contrôle afin de permettre une protection plus efficace de l'environnement.

1.2 Objectifs de l'étude

Il existe plusieurs types de moyens d'action pouvant être appliqués pour contrôler l'agression toxique: des moyens de type juridique pour l'établissement de normes, économique de nature financière, fiscale ou par des redevances ou encore de type administratif, technologique et judiciaire (Descôteaux *et al.*, 1977). L'information, l'éducation et la sensibilisation de la population sont également essentiels.

En plus de ces moyens, l'ensemble de l'intervention doit aussi agir dans le but d'améliorer la qualité et la disponibilité de la ressource eau, permettant ainsi un usage optimal et une non-détérioration de notre environnement. Il est donc de première importance de posséder des outils efficaces à évaluer objectivement la "qualité" de l'eau dans une intervention globale pour contrer l'agression toxique.

Conséquemment, le présent travail présente succinctement la problématique générale de l'agression toxique dans le milieu et critique, après avoir passé en revue les différentes méthodes biologiques de détection et de contrôle de la pollution par les toxiques, les types de bio-essais existant pour évaluer cette toxicité.

CHAPITRE 2

L'AGRESSION TOXIQUE

2. L'AGRESSION TOXIQUE

Avant d'étudier les méthodes biologiques le présent chapitre situe le problème des toxiques dans le contexte global de la pollution des eaux. La scénarisation de l'agression toxique ainsi que l'élaboration d'une stratégie d'intervention face à cette dernière permettent de mieux comprendre le système de la pollution des eaux ainsi que le rôle précis des méthodes biologiques d'évaluation de la qualité.

2.1 Mise en évidence du problème des toxiques

La mise en évidence de l'existence de substances toxiques dans la pollution des eaux demeure un phénomène récent parmi les préoccupations des environmentalistes (Selon Delisle, 1978). Quelques 25,000 nouveaux composés chimiques sont synthétisés chaque année dont plus de 400 atteignent le stade d'une production commerciale. Ces produits s'ajoutent régulièrement aux quelques 1,8 million déjà synthétisés dont plus de 10,000 sont déjà commercialisés. Cette remarquable diversité et l'importance des quantités produites (plus de 60 milliards de kg. annuellement aux Etats-Unis; (Howard, 1975) rendent difficile l'élaboration de la problématique de leurs effets possibles sur l'environnement.

L'atmosphère et l'eau servent de vecteurs universels à ces substances toxiques dont les effets se répercutent sur l'ensemble des écosystèmes aquatiques et terrestres. Actuellement la biocénose de grandes étendus d'eau comme les Grands-Lacs ou le golfe Saint-Laurent est menacée par les substances toxiques. En effet, l'industrialisation massive, l'avènement du nucléaire et la concentration des populations ont amené le rejet de résidus et déchets de tout genre

dans les différents cours d'eau qui aboutissent nécessairement dans ces grands réservoirs. Ceci, sans compter l'utilisation directe des grandes étendues d'eau salée considérées comme infinies pour l'ensemble des rejets de grands centres urbains et industriels situés le long des côtes.

La prise de conscience de la présence de substances chimiques dans l'environnement pouvant entraîner d'importantes perturbations d'abord des processus métaboliques ensuite des variations drastiques de l'évolution naturelle de la biosphère, met en doute la capacité même de l'homme à survivre dans son nouveau milieu.

La pollution par les substances toxiques est un phénomène dont l'analyse est d'une grande complexité et peut sembler insoluble si elle n'est pas observée de façon globale (Couillard, 1975). En effet une intervention efficace sur ce type de pollution nécessite beaucoup plus que la connaissance sectorielle de chaque substance chimique responsable ou de leurs effets possibles sur les organismes vivants. Cette dernière approche s'avère d'ailleurs très coûteuse et semble donner peu de résultats.

2.2 Elaboration de la problématique

Le système de la pollution toxique se veut d'abord structuré, évolutif et en étroite relation avec les systèmes économiques, sociaux, politiques et environnementaux (Trudel et Couillard, 1977). Avant de procéder plus avant dans le texte, le lecteur devrait se familiariser avec les définitions de certains termes qui sont présentés à l'annexe A.

Globalement, le système de l'agression toxique est constitué des composantes même de la biosphère, des agents de l'agression et de l'ensemble des facteurs produisant des substances altéragènes toxiques (agents d'agression). L'ensemble de ces sous-systèmes sont inter-reliés selon la figure 2.1 dans un espace commun qui englobe l'ensemble des agressions toxiques.

Les agents d'agression proviennent de trois sources principales; géologiques (thermiques ou physico-chimiques), biologiques (par le métabolisme des êtres vivants) et anthropologiques (directement ou indirectement par l'homme). Certaines substances chimiques prennent origine à la fois de deux ou trois sources comme par exemple le méthylmercure ($\text{CH}_3 - \text{Hg}^+$).

Afin de permettre au lecteur de mieux comprendre l'interaction des trois sources, nous allons discuter en détail le dernier exemple.

Lorsque le mercure pénètre directement ou indirectement dans l'écosystème aquatique à partir de sources naturelles (géogéniques) ou de rejets artificiels (anthropogéniques), il se présente, généralement, sous les cinq formes suivantes: métallique (Hg^0), ionique (Hg^{++}), aryl ou phénylmercurique ($\text{C}_6\text{H}_5 - \text{Hg}^+$), alkyl ou méthylmercurique ($\text{CH}_3 - \text{Hg}^+$) ou alkoxyalkylmercurique ($\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_2 - \text{Hg}^+$). L'ionisation du mercure métallique est favorisée par des conditions anaérobies tandis que le milieu aérobie amène le contraire. Ensuite le mercure bivalent (Hg^{++}) est méthylé par des microorganismes (biogénique) associés aux sédiments. Cette méthylation peut s'effectuer à l'aide de la méthylcobalamine, coenzyme dérivé de la vitamine B_{12} chez certaines bactéries ou champignons (Sasseville et St-Martin, 1977). Il est à noter que la méthylation du mercure peut se réaliser non seulement au

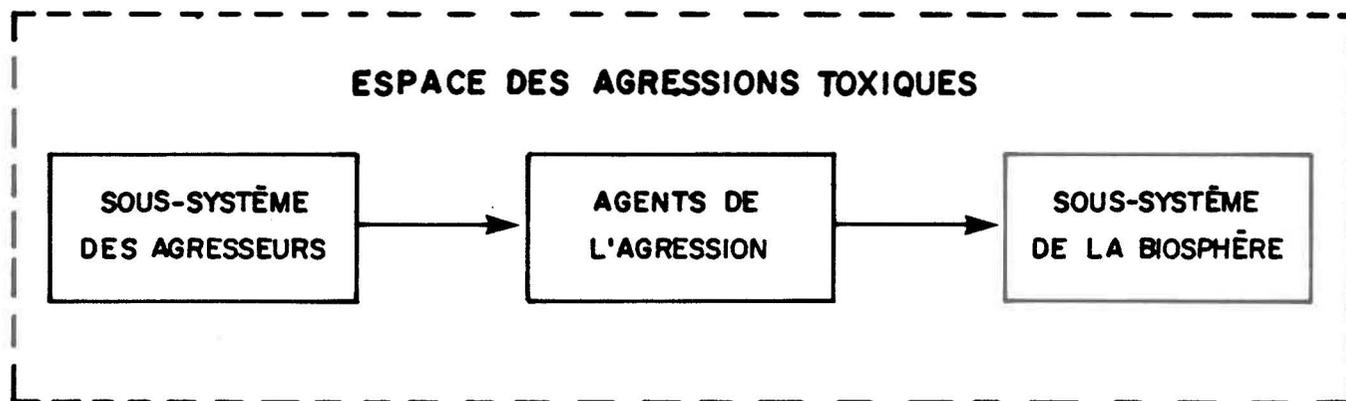


Figure 2.1 . Système global de l'agression toxique (Sasseville, 1977).

niveau des microorganismes anaérobies des sédiments mais aussi au niveau des poissons dans un écosystème aquatique. La majorité des substances altérageuses toxiques se retrouvent dans l'environnement sous différentes formes et la mise en circulation de type anthropogénique est la plus importante. L'ensemble de ces substances une fois émises sont véhiculées dans les écosystèmes terrestres et aquatiques par une multitude de voies avec des intensités tout aussi variées. Leur évolution peut se scénariser globalement en faisant ressortir les grands écosystèmes de la biosphère et en simulant les flux relatifs des agents d'agression.

La figure 2.2 reproduit le système global du cheminement des substances altérageuses toxiques dans l'environnement et donne une vue d'ensemble des interrelations entre chacun des sous-systèmes biosphériques. De plus, cette figure met en évidence une tendance à l'accumulation des substances toxiques dans les systèmes estuariens et marins.

On note également l'importance de l'activité humaine dans l'accélération des flux par le dragage et l'ensemble des méthodes utilisées pour le rejet de déchets. Cependant, étant donné la grande complexité des intervenants impliqués dans la pollution toxique (industries, substances chimiques complexes, effets biologiques mal connus etc.) il s'avère nécessaire d'élaborer systématiquement et plus en détail l'allure spécifique du cheminement des agents d'agression dans les cinq sous-systèmes. Le travail étant d'envergure nous avons décidé de limiter le sujet de ce mémoire au sous-système des eaux douces.

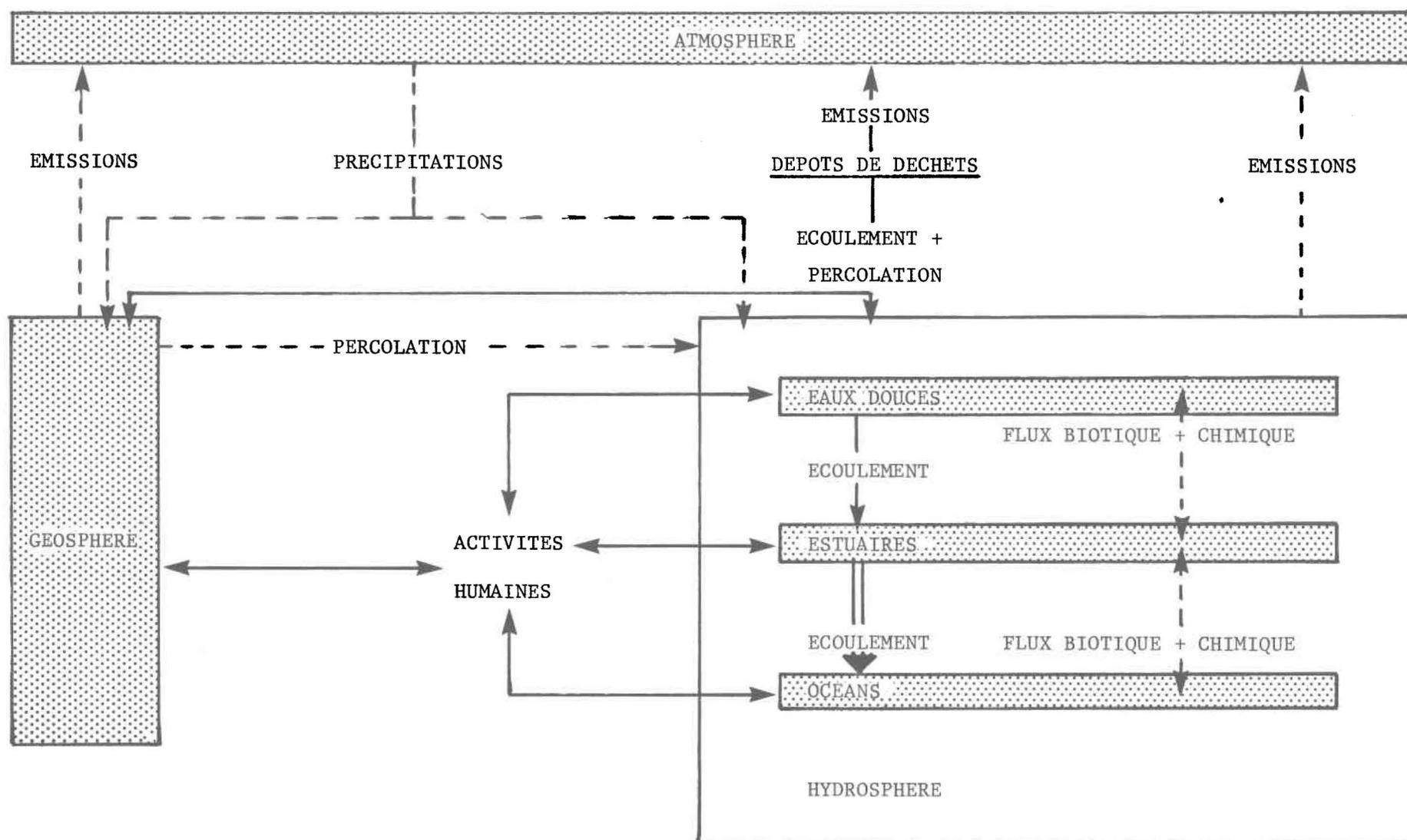


FIGURE 2.2: CHEMINEMENTS PRINCIPAUX D'AGENTS D'AGRESSION

2.3 Scénarisation des agressions dans le système des eaux douces

L'élaboration d'un scénario décrivant de façon systémique les flux des agents d'agression ainsi que leur importance relative, nécessite la connaissance des composantes majeures des systèmes étudiés ainsi que des interrelations intrinsèques et extrinsèques à ces derniers.

Afin de mieux comprendre la progression de ces flux au travers de l'écosystème "eaux douces" la figure 2.3 schématise grossièrement les principales interrelations entre les composantes majeures de ce système par l'intermédiaire desquelles les agents d'agression peuvent être véhiculés.

Cette même figure qui est la scénarisation du comportement des agents d'agression toxique dans l'écosystème des eaux douces peut être vérifiée conforme à la réalité par un ensemble d'indices de comportements. Ces indices sont des mesures expérimentales qui permettent de vérifier aux endroits le plus stratégiques du scénario si les flux schématisés dans ce scénario sont conformes à un processus biologique et physico-chimique qui prévalent dans les eaux douces.

Un exemple de ces indices serait de mesurer si l'absorption de substances toxiques par les végétaux peut être la cause de l'augmentation de la concentration des substances toxiques dans les tissus des herbivores.

Advenant la confirmation de ce phénomène, le lien entre les et macrophytes et les herbivores dans le scénario de la figure 2.3 est en adéquation avec le cheminement réel des substances toxiques.

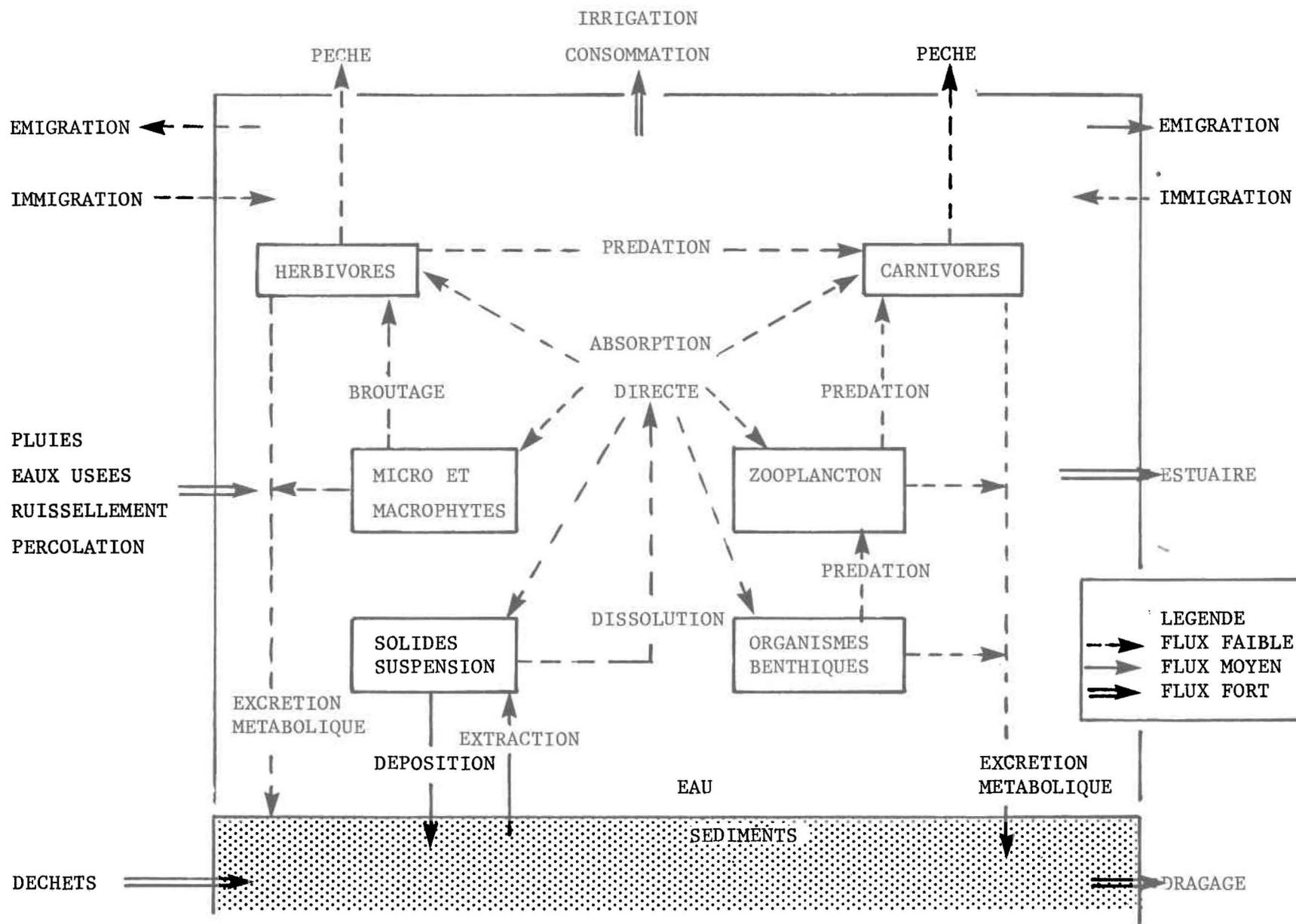


FIGURE 2.3: PRINCIPAUX FLUX D'AGENTS D'AGRESSION TOXIQUE AU TRAVERS DES COMPOSANTES D'UN ECOSYSTEME D'EAU DOUCE

Suite à cette étude on obtient un scénario environnemental qui nous indique avec circonspection les points les plus importants de l'agression c'est-à-dire ceux sur lesquels l'intervention devrait agir.

2.4 L'intervention pour contrer l'agression toxique

L'agression toxique est un système ayant des caractéristiques propres et dont le gestionnaire doit tenir compte s'il veut que ses interventions aient un certain pourcentage de succès. Les différents stage de l'agression toxique tels la genèse, la croissance, la consolidation et la destructuration des agents d'agression ainsi que les interrelations avec les systèmes extérieurs sont des principes qui doivent être considérés dans la modalité de mise en opération de la stratégie et ceci au même compte que les contraintes et résistances internes et externes au système. En fait l'intervention devra être partie intégrante d'une stratégie structurée, évolutive et répondant aux phénomènes économiques, sociaux et politiques.

Avant d'étayer toutes les actions à prendre afin d'intervenir face à l'agression toxique, on doit d'abord spécifier les objectifs et en tout premier lieu la finalité de l'intervention. Compte tenu de la problématique et des principes énoncés précédemment la finalité de l'intervention sera de "contrer l'agression toxique". Cette finalité est sous-tendue par trois objectifs:

- l'acquisition de connaissances sur le système étudié par l'identification des agents d'agression, des agresseurs, des lieux de production et l'agression en tant que tel;

- l'évaluation de l'intensité de l'agression afin de polariser l'intervention à des endroits stratégiques;
- l'intervention en tenant compte des conjonctures externes sur l'agression toxique directe et indirecte ainsi que des structures et des dynamiques propres à ces sous-systèmes.

L'application inconditionnelle de ces grands objectifs n'est pas souhaitable et est très peu systémique. Plusieurs principes de base doivent aider la mise sur pied des buts et des moyens d'intervention (gage du succès de l'implantation de la stratégie) de façon à minimiser les résistances inévitables à l'établissement de ce nouveau système.

Le droit de vivre dans un milieu salubre, la tendance vers une qualité de vie meilleure, la présence essentielle de certaines substances pour l'amélioration des conditions socio-économiques d'un pays, l'importance de l'activité industrielle ou encore le coût élevé du freinage de l'agression sont tous des points importants qui doivent être considérés dans l'établissement de buts et moyens d'intervention.

CHAPITRE 3

SURVEILLANCE BIOLOGIQUE

3. SURVEILLANCE BIOLOGIQUE

3.1 Définition et description des grands types

Les raisons majeures pour contrôler la pollution des eaux sont principalement d'ordre biologique (Cairns *et al.*, 1976; Mount, 1974; Schiefer et Lush, 1975; Sprague, 1969). Cependant il existe aucun modèle valable pour décrire les comportements des systèmes environnementaux naturels sujets à l'intervention humaine (Hamilton, 1976). Il est donc difficile de connaître et encore plus de prévoir l'effet que peut avoir l'utilisation actuelle ou future de ces systèmes sur leurs composantes biologiques, conséquemment les techniques biologiques de caractérisation de la qualité prennent une importance majeure comme outil de gestion (Mancy, 1971).

La surveillance biologique est une expression qui s'applique à une grande variété de techniques utilisant la réponse d'un ou plusieurs organismes aux conditions environnementales. Ces techniques se divisent en deux grandes classes (Matolova, 1969):

- 1) les techniques estimant l'abondance absolue ou relative d'espèces animales ou végétales dans leur communauté dénommées études de terrain (écologique);
- 2) les techniques de laboratoire (physiologiques) qui emploient un ou plusieurs organismes dont les réactions physiologiques¹ servent d'indice à la détermination de la qualité de l'eau.

¹ La mort est considérée ici comme une réaction physiologique.

La figure 3.1 résume l'ensemble des méthodes biologiques pouvant être utilisées pour tenter d'évaluer la pollution toxique. Les études *in situ* consistent à isoler les organismes en contrôlant l'apport de substances toxiques mais tout en conservant les conditions naturelles du milieu de vie.

3.2 Objectifs de la surveillance biologique

Plusieurs auteurs (Holdgate, 1971; Malina, 1970; Poels, 1977) font ressortir de nombreux objectifs spécifiques à la surveillance biologique; ce sont entre autres la détermination des concentrations permmissibles de produits toxiques, l'évaluation de l'efficacité des mesures gouvernementales pour combattre la pollution ou encore la compréhension des processus par lesquels les polluants agissent sur les systèmes physiques et biologiques.

Quelque soit l'objectif spécifique de son utilisation la surveillance biologique a généralement comme but premier l'évaluation de la qualité d'un cours d'eau ou rejet en étudiant le comportement physiologique ou le comportement d'organismes vivants. Cette connaissance de la qualité biologique du milieu permet d'estimer le niveau de détérioration ou d'amélioration d'un cours d'eau ou encore fournit une évaluation rapide de la toxicité de différents produits sous un nombre de conditions contrôlées (La Roche, 1974).

Idéalement le rôle de la surveillance biologique serait dans le contexte global d'une stratégie pour contrer l'agression toxique (Ladd, 1977), d'assurer que les gens, ressources naturelles et conditions de vie reçoivent une protection et un contrôle adéquat face aux agents toxiques.

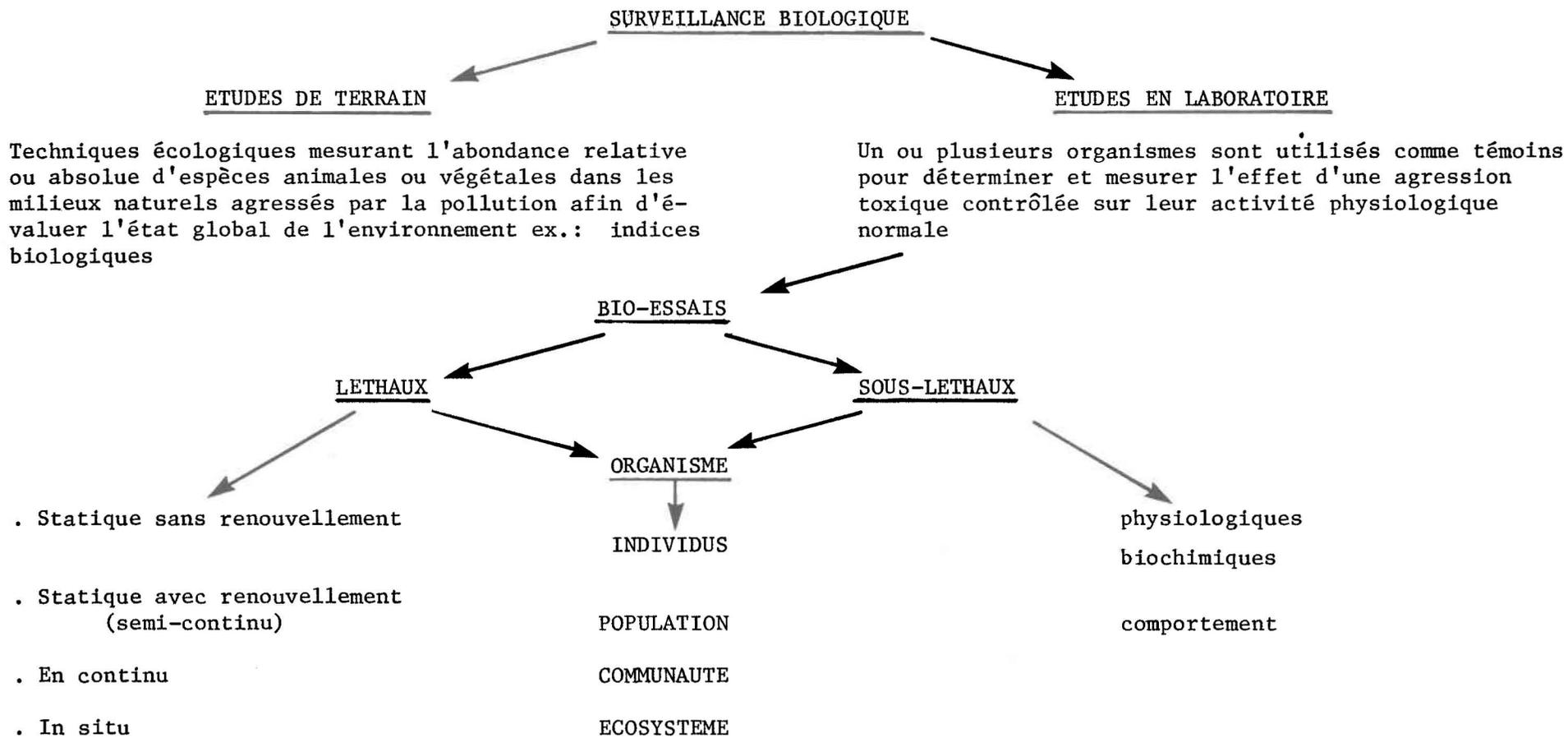


FIGURE 3.1: SCHEMATISATION GENERALE DE LA SURVEILLANCE BIOLOGIQUE RELIEE A L'EVALUATION DE LA POLLUTION TOXIQUE

Enfin, l'objectif des recherches biologiques sur les effets léthaux et sous-léthaux des agents toxiques devrait porter sur la capacité de prédire les concentrations sécuritaires sous des conditions d'exposition continue afin de permettre la survie, la croissance, la reproduction ainsi que le bien-être général des populations (Tarzwell, 1962). En d'autres mots, il doit permettre à la vie aquatique de prospérer et non pas uniquement de survivre.

3.3 Bio-essais comme moyens de contrôle de la toxicité

Etant donné la grande variété de techniques de surveillance biologique (tableau 1) et compte tenu de leur importance dans les études toxicologiques, nous limiterons le sujet de ce travail aux méthodes physiologiques.

3.3.1 Base des bio-essais

Les types de bio-essais étudiés dans ce travail sont ceux qui étudient les réponses biologiques¹ des animaux ou végétaux pour évaluer la toxicité relative d'une eau naturelle, usée ou d'un agent d'agression quelconque. Ces derniers diffèrent de la technique des "indices biologiques" qui permettent d'évaluer à partir de l'observation de l'absence ou l'abondance relative de certaines espèces, le niveau relatif de pollution (le plus souvent organique). Cette approche sous-tend l'avantage par rapport aux méthodes physico-chimiques d'inclure la majorité des effets toxiques. Les phénomènes de synergisme, d'antagonisme et autres interactions chimiques sont considérés automatiquement sans toutefois connaître leurs inter-relations exactes.

¹ Biologique est considéré dans son sens le plus vaste et signifie les réponses de type physiologique, biochimique ou de comportement.

L'utilisation d'organismes vivants fournit en effet un indice très sensible de la condition globale de leur environnement et fournit également la solution la plus simple et la plus rapide pour l'évaluation des dangers potentiels des polluants présents.

Avant de procéder à l'énumération des avantages et des inconvénients de l'utilisation des bio-essais pour la surveillance, les prochains paragraphes décriront succinctement les différents types de bio-essais et d'organismes utilisés actuellement et analyseront les avantages et les inconvénients de l'utilisation des bio-essais pour la surveillance.

3.3.2 Types de bio-essais

Il existe deux grands types de bio-essais pour évaluer la toxicité d'un produit ou rejet quelconque; l'un est basé sur la mort des organismes et l'autre sur les réactions physiologiques sous-léthales comme la fréquence respiratoire ou la capacité de reproduction. Malgré que depuis le début de l'utilisation de ces tests, celui basé sur la mort ait été le plus employé, les bio-essais sous-léthaux prennent aujourd'hui une importance croissante dans les études toxicologiques.

3.4 Bio-essais léthaux

Le but des bio-essais léthaux est généralement d'obtenir une estimation rapide de la toxicité d'un produit ou d'un ensemble de produits sous un nombre de conditions contrôlées (LaRoche, 1974). Ils informent par exemple sur les concentrations et les temps nécessaires pour provoquer un arrêt de la croissance chez les algues, du mouvement chez les Daphnae ou encore de la mortalité

chez les poissons. L'utilisation de tels tests est plutôt limitée et ils servent surtout à établir des niveaux relatifs de toxicité ou encore déterminer le taux de dilution nécessaire pour effectuer des bio-essais de plus longue durée.

La mort comme indice de pollution toxique est un principe qui risque de masquer beaucoup d'effets sous-léthaux. Ce test ne tient pas compte des effets à long termes par exemple, la concentration des toxiques dans la chaîne alimentaire peut amener une accumulation à caractère léthale dans les tissus humains ou encore la dissémination d'une population ou même la disparition de l'espèce. De plus l'exposition des systèmes vivants à de si fortes concentrations modifie les réponses qui peuvent varier non seulement en force mais aussi de type comparativement à des expositions à de plus faibles concentrations (Lagerwerff, 1975). Il existe quatre grands types de bio-essais de type léthaux:

- 1) les bio-essais statiques sans renouvellement de la solution étudiée;
- 2) les bio-essais avec renouvellement partiel de la solution;
- 3) les essais avec renouvellement continu;
- 4) les essais exécutés in situ.

Les organismes les plus utilisés sont les algues, les mollusques, les crustacés et les poissons (Barbier, 1976). Ces organismes seront analysés dans le chapitre 4.

3.4.1 Bio-essais léthaux en milieu statique

Les bio-essais de type léthaux se divisent d'abord en bio-essais statiques; c'est-à-dire les tests où les organismes étudiés sont exposés

pendant un certain temps (ordinairement 96 heures) à des solutions à caractère toxique qui ne sont pas renouvelées pendant toute l'expérience. Les bio-essais statiques à court terme sont les plus simples et probablement la méthode la plus utilisée pour déterminer une première valeur de la toxicité relative d'un effluent.

Ce type d'approche possède en effet quelques avantages. La simplicité de l'appareillage, l'opérationnalisation peu coûteuse, la possibilité de faire un grand nombre d'échantillons très rapidement et d'avoir une fiabilité statistique élevée justifient probablement la popularité de cette technique. Les bio-essais léthaux en milieu statique servent à évaluer rapidement la qualité d'un rejet par une première étude et permettent également de mettre en évidence en moins de 12 heures pour des polluants spécifiques certains phénomènes de synergisme ou d'antagonisme, informant sur la toxicité relative de ces derniers.

Le bio-essai léthal en milieu statique est un outil pratique mais qui sous-tend certains désavantages. D'une part, le milieu de vie statique conserve difficilement la concentration initiale de toxiques (Lee, 1971); en fait les substances volatiles sont difficilement retenues et les organismes modifient constamment la constitution de leur environnement par l'accumulation et encore plus dans les conditions de laboratoire, de rejets métaboliques (Scheier, 1973).

D'autre part Morgan (1977a) affirme que les tests statiques utilisant la mort du poisson comme indicateur sont inadéquats à protéger un système recevant des rejets traités ou à évaluer l'agression de certains polluants qui pourraient mettre en danger la santé publique. Il semble donc recommandable d'éviter l'utilisation d'un tel bio-essai.

3.4.2 Bio-essais léthaux en milieu semi-continu

Plusieurs désavantages des bio-essais statiques proviennent du fait que le milieu de vie n'est pas renouvelé au cours de l'expérience amenant ainsi des variations sensibles des concentrations toxiques. Cependant un deuxième groupe de tests léthaux, les bio-essais en milieu semi-continu assurent une concentration des toxiques plus constante, l'élimination des métabolites produits ainsi qu'une analyse possible des produits instables ou volatils.

Cette technique est sensiblement la même que celle en milieu statique sauf que les organismes étudiés (poissons, algues ou autres) sont périodiquement exposés à une nouvelle solution de la même composition que la précédente, ordinairement à tous les 24 heures, soit en transférant les organismes d'un milieu à un autre ou soit en remplaçant la solution (Committee on methods for toxicity tests with aquatic organisms, 1975).

Cette technique permet d'améliorer certaines faiblesses des bio-essais en milieu statique mais amène d'autres difficultés tout aussi importantes. L'une d'entre elles causée lors du renouvellement de la solution provoque un stress supplémentaire chez l'organisme pouvant ainsi réduire sa résistance aux substances toxiques et à la limite causer sa mort prématurément.

A part de mentionner la nécessité d'un équipement plus complexe et donc plus dispendieux, la littérature demeure avare de commentaires sur ce type de bio-essai et il semble que l'utilisation d'une telle méthode demeure limitée (Reynolds *et al.*, 1976). Elle ne consiste en fait qu'en une solution entre le bio-essai en milieu statique et le bio-essai en continu et regroupe d'une certaine façon l'ensemble des désavantages des deux méthodes.

3.4.3 Bio-essais léthaux en milieu continu

La forme la plus adéquate des tests de toxicité aigue est probablement la technique du bio-essai léthal en continu (Davis, 1975). Dans ce type de bio-essai le milieu étudié est constamment renouvelé par un système automatique de dosage. Ainsi, Brenninman *et al.* (1976) et Butrico (1969) ont démontré que les méthodes en continu sont plus fiables pour indiquer les effets toxiques d'un polluant sur les organismes aquatiques que les tests statiques. Boucher (1971) affirme également que ces méthodes peuvent au départ fournir une information permettant une meilleure compréhension des problèmes de qualité de l'eau ainsi que s'intégrer dans un système d'action visant à apporter des corrections aux problèmes de pollution des eaux.

Les désavantages associés aux tests léthaux statiques comme la détoxification du milieu suite à une adsorption sur les parois ou une évaporation de produits à caractère volatil sont grandement minimisés avec ce système. Une concentration plus constante du produit ou des rejets étudiés permet d'émettre des recommandations plus justes, de mieux protéger la vie des organismes aquatiques et donne au gestionnaire la possibilité de prendre des mesures efficaces pour éviter des désastres écologiques.

Le bio-essai léthal en continu nécessite cependant un appareillage élaboré (dilueurs, bassins spéciaux, etc.) et un personnel plus qualifié entraînant des coûts de beaucoup supérieurs aux tests léthaux en milieu statique ou semi-continu. Egalement les appareils occupent de grands espaces et nécessitent une quantité appréciable de substances toxiques disponibles surtout pour les tests à long terme et une eau de dilution non-chlorée pour permettre la survie des organismes étudiés.

Ce type de bio-essai est utilisé à plusieurs endroits et de nombreux auteurs le recommandent (Brenniman *et al.*, 1976; Horning, 1977; LaRoche, 1974; Scheier, 1973). Cependant son utilisation semble limitée et inadéquate pour une généralisation à tous les types de rejets. Il peut cependant s'appliquer relativement bien comme système de surveillance de certains types de rejets industriels; par exemple les rejets d'usines pétro-chimiques.

Etant donné la grande complexité des appareils nécessaires au bon fonctionnement d'un bio-essai en continu (dilueurs automatiques, appareils de dosage etc; Vanderhorst, 1977), il semble préférable d'utiliser ces derniers pour mesurer des paramètres moins drastiques que la mort afin d'obtenir une meilleure évaluation des répercussions possibles dans le milieu et ainsi mieux justifier le coût de tels appareils.

3.4.4 Bio-essais léthaux in situ

Les bio-essais léthaux in situ consistent à immerger et à maintenir dans les cours d'eau récepteurs des organismes isolés par un cage ou un bassin (Davis, 1975). Cette méthode permet de considérer la majorité des variables physiques et chimiques influençant le comportement de l'organisme avec le ou les toxiques, mais cette méthode entraîne aussi beaucoup de difficultés.

Naturellement, compte tenu des courants, des crues, des fluctuations de température et d'une variété d'autres facteurs, la concentration des polluants variera. L'imprécision dans la connaissance précise des variations des conditions physiques et chimiques du cours d'eau (Cox, 1974), l'incapacité pour les organismes de se comporter normalement dans un milieu consiné et l'absence de vrais contrôles sur l'expérience rendent souvent les résultats difficilement interprétables (Davis, 1975).

Il appert que malgré ces désavantages, le bio-essai léthal in situ demeurent un outil valable pour donner une première indication d'un problème possible dans un cours d'eau récepteur. On peut ainsi évaluer exactement l'effet des rejets sur le comportement d'un organisme dans son milieu naturel.

3.4.5 Bio-essais léthaux in situ (laboratoire mobile)

Parallèlement à la dernière méthode il existe les laboratoires mobiles qui ont comme objectif premier l'évaluation de la toxicité de certains produits ou rejets en utilisant comme eau de dilution l'eau des rivières réceptrices (Drawas *et al.*, 1977; Falk, 1973; Gerhold, 1973). Cette dernière classe de bio-essais léthaux est généralement constituée de bio-essais léthaux en laboratoire plutôt qu'in situ et permettent d'utiliser comme vecteur du rejet étudié, la composition exacte de l'eau qui servira de milieu récepteur.

Cependant, plusieurs problèmes techniques rendent difficile la généralisation de ce procédé. Entre autres l'accessibilité du cours d'eau, la résistance des appareils de mesure, la grosseur du laboratoire, la lenteur du procédé d'évaluation, le coût, etc. Enfin il n'est pas prouvé que la forme du toxique analysé dans l'eau réceptrice sera la forme la plus toxique. Quoique plusieurs types de laboratoires mobiles soient utilisés couramment, tels que ceux utilisant des organismes typiques du milieu étudié, ou encore mesurant la mort d'espèces standard, la réalisation du plein potentiel de l'utilisation pour des études de toxicité sur le site même de l'agression reste encore à faire.

3.5 Bio-essais sous-léthaux

L'analyse des objectifs des bio-essais décrits précédemment met en évidence que l'utilisation de tests léthaux, n'exprimant que les niveaux de

toxicité à peine suffisants pour permettre la survie d'un petit groupe d'individus lors d'une courte période de temps, n'est pas suffisante pour protéger adéquatement les conditions de vie normale dans le milieu aquatique.

L'existence d'espèces, quoique l'on devrait parler ici de populations, communautés de biocénose et d'écosystèmes ne se limitent pas à leur survie momentanée sous une agression toxique quelconque. Les conditions de vie doivent être suffisantes pour permettre une reproduction et croissance normale des individus affectés (Tarzwell, 1962).

En fait, la tolérance d'organismes face à des conditions léthales naturelles ou non, ne fait qu'établir les limites extrêmes de leur distribution dans la nature et ne peut nous montrer qu'une faible partie des qualités requises pour permettre une vie normale des organismes présents dans les cours d'eau récepteurs.

Suite aux tests léthaux, les dernières années ont permis la mise au point d'études concernant l'effet des rejets toxiques sur la reproduction, croissance et comportement des organismes. Cette autre forme de bio-essai étudie les réponses sous-léthales des organismes par la mesure de certains changements biochimiques, physiologiques ou encore de comportement. La définition d'un niveau de toxicité par une variété d'effets sous-léthaux permet une protection relativement bonne des eaux réceptrices et de leur composante biologique. L'utilisation de ces méthodes pour estimer les changements suite à une agression toxique et ce avant qu'ils ne deviennent irréversibles est d'une plus grande utilité que les tests de mortalité (Pawlaczyk, 1972; Scheier *et al.*, 1973). On peut regrouper les bio-essais sous-léthaux en trois classes:

- 1) bio-essai sous-léthaux de type physiologique;
- 2) bio-essai sous-léthaux de type biochimique;
- 3) bio-essai sous-léthaux de type de comportement.

3.5.1 Bio-essais sous-léthaux de type physiologique et biochimique

Etant donné les similarités entre les bio-essais sous léthaux de type biochimique et physiologique, nous allons pour les fins de ce mémoire les étudier conjointement. Généralement ces tests s'appliquent sur des organismes étudiés individuellement ou collectivement. Plusieurs paramètres peuvent être mesurés afin d'évaluer le niveau relatif de toxicité. Par exemple, la mesure des variations de production d'Adenosine Triphosphate (A.T.P.) (Little, 1977; Sutcliffe *et al.*, 1976) suite à une exposition prolongée aux substances toxiques est un exemple de bio-essai de type biochimique. La mesure des variations de fréquence du battement operculaire des poissons suite à une exposition est un exemple de bio-essai de comportement (Sparks *et al.*, 1972).

Malgré une abondante littérature concernant les effets de plusieurs polluants sur une multitude d'organismes (Arnold *et al.*, 1976; Lin, 1977; Maciorowski, 1975; Vigers, 1977), nos connaissances du fonctionnement global des systèmes vivants dans lesquels s'incorporent ces variables spécifiques sont généralement insuffisantes. En fait elles sont inadéquates à relier le comportement des systèmes physiologiques ou biochimiques aux performances normales des individus considérés comme un tout et encore moins le succès d'une population dans son propre écosystème (Warren, 1976).

Les études physiologiques et biochimiques ne peuvent considérer l'ensemble des phénomènes naturels comme la compétition ou la disponibilité de la nourriture. Ceci n'implique pas que ce genre de recherche devrait être négligé mais que l'on devrait plutôt donner plus d'importance aux objectifs, possibilités et contraintes de ces dernières.

3.5.2 Bio-essais sous-léthaux de type de comportement

Les bio-essais de comportement se subdivisent en trois composantes: l'étude du comportement d'un individu, d'une population ou d'une communauté.

3.5.2.1 Comportement individuel

Le bio-essai de comportement individuel consiste par exemple à mesurer la capacité d'un poisson à nager à contre-courant sous l'influence d'un agent d'agression toxique quelconque. La capacité de ce dernier à s'y maintenir en position stable sert de paramètre pour évaluer la toxicité.

Le comportement d'un individu en laboratoire est relativement difficile à étudier et encore plus dans son milieu de vie naturel. Les résultats obtenus en laboratoire (par exemple l'étude du rhéotaxisme chez les poissons, Besch, 1977; Poels, 1977) sont difficiles à extrapoler en nature compte tenu des grandes différences entre les deux milieux.

Cependant, si l'on demeure conscient de telles différences, les résultats obtenus peuvent fournir une représentation utile et fidèle des effets possibles des changements environnementaux sur les populations dans la nature.

Ceci vaut également pour les études de reproduction, nourriture et de comportement territorial. Le succès de suivre des populations aquatiques dépend tout autant du comportement des individus que de toute autre caractéristique.

3.5.2.2 Comportement d'une population

S'il est difficile d'étudier le comportement d'individus en laboratoire ou dans la nature, il l'est encore plus pour une population. D'autant plus difficile qu'on ne peut expliquer ou évaluer les effets de la pollution sur la vie aquatique sans connaître comment elles répondent à leur environnement sous des conditions contrôlées. Les publications concernant l'étude du comportement d'une population en milieu pollué ne sont que d'une préoccupation toute récente.

Les quelques paramètres pouvant être étudiés afin d'évaluer l'effet de la pollution toxique sur une population sont en général ceux de reproduction et de taux de croissance, et ils s'appliquent autant aux végétaux qu'aux animaux.

En fait, il devient important lorsqu'on étudie la capacité d'une population à subir une agression toxique, surtout pour celles qui ait une importance économique, d'évaluer les effets que peuvent avoir sur la quantité de biomasse produite l'apport de polluants. Une surestimation de la concentration permmissible dans le milieu peut entraîner une forte diminution de la production potentielle d'une espèce jusqu'à un niveau si faible qu'il peut disparaître ou devenir inutilisable par l'homme. Ce type d'étude sur une population demeure d'importance majeure.

3.5.2.3 Comportement d'une biocénose

La protection de la biocénose entière est l'objectif ultime des bio-essais. Toutefois ce niveau ultime de regroupement d'espèces vivantes possède certains comportements particuliers.

Les changements dans le taux de production de la biomasse que l'on peut retirer sans affecter l'équilibre de l'écosystème sont des paramètres essentiels dans l'étude du comportement d'un écosystème. Warren (1976) décrit une méthode d'évaluation de la qualité d'une eau par l'étude des relations de densité entre les différentes populations présentes.

Il est donc important, lorsque l'on étudie l'effet d'une agression toxique sur un milieu de vie soit par des études sur des individus ou des groupes d'individus de bien établir les objectifs et de garder en mémoire les contraintes à l'extrapolation des résultats dans le milieu naturel.

CHAPITRE 4

ORGANISMES UTILISES DANS LES BIO-ESSAIS

4. ORGANISMES UTILISES DANS LES BIO-ESSAIS

La détection et la mesure de la toxicité au moyen d'organismes aquatiques s'effectue globalement de deux façons: l'observation directe sur le terrain ou par des bio-essais en laboratoire. De ces deux procédés le plus commun consiste à exposer l'organisme aux milieux à étudier et à analyser ses réactions dans le but de fixer un niveau acceptable de toxicité (Committee on methods for toxicity tests with aquatic organisms, 1975).

Le choix de l'organisme ou du groupe d'organismes test dépend en partie des objectifs poursuivis par l'expérimentateur. Généralement les essais se font avec les poissons mais d'autres espèces peuvent être utilisées (invertébrés, algues, etc.).

Jusqu'ici en exceptant les poissons et quelquefois même les algues, la littérature a relativement peu traité de travaux effectués avec d'autres organismes comme les invertébrés ou certaines autres espèces benthiques (Lin, 1977). L'aspect toxicité relié à ces organismes est de plus en plus étudié (Bather, 1977) et plusieurs institutions (Agences de bassin Françaises, Service de Protection de l'Environnement du Québec, Institut National de la Recherche Scientifique) utilisent ces derniers plutôt que le poisson.

4.1 Les poissons

On considère parfois que chacun des organismes composant le milieu aquatique devrait être protégé de l'agression toxique. Ce principe un peu idéaliste ne peut évidemment s'appliquer compte tenu des contraintes économiques et sociales qui découleraient d'une telle politique. La protection d'espèces ayant

une importance quelconque pour l'homme se justifie plus facilement que celles de niveau trophique inférieur, ces dernières pouvant néanmoins affecter gravement les organismes supérieurs.

Les bio-essais utilisant comme organismes témoins les poissons ont servi de façon extensive depuis déjà de nombreuses années. Plusieurs auteurs (Hopkin *et al.*, 1973; Morgan, 1977; Pawlaczyk, 1972) prétendent d'ailleurs que les méthodes utilisant ces derniers pour la détection de substances toxiques sont les plus efficaces. Une utilisation aussi forte se justifie partiellement par certains avantages dont le plus important est le fait que leur taille soit en général suffisante pour permettre une observation et manipulation aisée des organismes. Egalement, le poisson est plus sensible que l'homme aux intoxications aiguës (Henderson et Pickering, 1963) et il l'est aussi en général pour des contaminants en concentrations inférieures à celles considérées comme dangereuses pour l'homme et certains animaux.

A plusieurs occasions les bio-essais utilisant des poissons se sont avérés avantageux; certains tests physiologiques ou de comportement raccourcissent la période de temps nécessaire et améliorent la représentativité des niveaux de toxicité estimés. Il a été prouvé (Harichaux *et al.*, 1975; Morgan, 1977a) que la réponse respiratoire du poisson à des concentrations léthales et sous-léthales de toxiques pouvait être un paramètre très fiable dans un système d'auto-surveillance biologique.

Enfin, l'utilisation du poisson supplante les limites imposées par les déterminations physiques et chimiques de la pollution (Sprague, 1973).

Malgré que le poisson soit un outil très populaire pour l'évaluation de la toxicité, il existe certains désavantages importantes à son utilisation. Sensible aux toxiques il l'est également à toutes les autres composantes de son environnement; les variations générales de la qualité de l'eau couvre le pH, la salinité, la dureté, le chlore et d'autres phénomènes comme la variation de la photopériode ou l'acclimatation possible de l'organisme sont des facteurs que l'on doit considérer et qui causent parfois de sérieuses contraintes à l'établissement de tests adéquats. Par exemple il a été observé (Camp, 1974) que la toxicité pour le poisson pouvait varier en fonction de la température et devenir plus ou moins toxique dépendamment du type de variation de température ou de l'espèce étudiée.

L'utilisation du poisson nécessite également de grandes quantités d'eau et advenant l'étude d'un effluent à forte demande biologique en oxygène (DBO_5), la surveillance de l'oxygène dissous, l'aération nécessaire à la survie du poisson peut faire varier la toxicité du rejet en oxydant certaines substances toxiques présentes.

Si l'on considère les organismes individuellement on observe que, dépendamment de l'espèce ou de l'individu étudié, la sensibilité face aux substances toxiques peut varier. De plus, étant donné les conditions environnantes auxquelles le poisson est soumis (confinement, immobilité, lumière artificielle, etc.) le comportement modifié de ce dernier amène inévitablement une représentativité de l'effet du toxique différente de ce qu'elle serait dans le milieu naturel (Doudoroff, 1977).

Parallèlement à ceci, lors de tests physiologiques il peut être difficile de vérifier les premières réactions du poisson tout comme les premiers

effets entraînant ainsi une sous-estimation des effets toxiques probables.

Par exemple si l'on étudie le taux de croissance d'un poisson confiné à un réservoir quelconque, ce dernier peut croître aussi vite sinon plus en présence d'une substance toxique dans un milieu témoin et ce suite à un apport continu de nourriture disponible sans effort. L'effet du toxique sur la croissance peut donc sembler plus faible en laboratoire étant donné que le poisson doit dans son milieu de vie naturel lutter pour se nourrir. La production peut également être affectée par le même phénomène. Enfin, l'utilisation d'organismes de niveau trophique supérieur ne peut tenir compte de l'effet cumulatif des toxiques dans la chaîne alimentaire (Lubinski, 1974).

Avant d'utiliser le poisson comme organisme test dans un bio-essai évaluant la toxicité d'un effluent urbain ou industriel certains principes de base devraient être suivis; connaître un pourvoyeur fiable d'organismes à bas prix, utiliser des poissons d'eau douce spécialement pour les bio-essais en continu, travailler avec des organismes de petite taille et bien tenir compte pour les études en milieu statique des déchets métaboliques produits.

Egalement, plusieurs facteurs autres que les substances toxiques elles-mêmes comme la température, le pH, la salinité, la photopériode, l'oxygène dissous peuvent affecter les réponses des poissons et il est essentiel que le plus grand nombre d'entre eux soient considérés dans l'élaboration du bio-essai.

Il semble donc que le poisson soit un indicateur sensible pouvant nous montrer à première vue le niveau de toxicité d'un produit quelconque mais très insuffisant pour protéger efficacement la vie dans un cours d'eau.

4.2 Les algues

Il existe dans l'étude des toxiques un besoin justifiable pour l'utilisation d'algues comme organismes test. En effet le phytoplancton est important puisqu'il est la source majeure de nourriture pour le zooplancton et dans certains cas pour le poisson. D'ailleurs, tout effet nocif sur les algues risque d'être léthal pour les niveaux trophiques supérieurs. L'étude des niveaux trophiques inférieurs est justifiée en fonction de la stabilité du système global et conséquemment par le comportement normal de toutes les composantes du système aquatique (Camp, 1974).

Il est possible de regrouper en deux types les bio-essais utilisant les algues: le bio-essai statique et le bio-essai en continu. Comme nous l'avions décrit dans le chapitre 3, le bio-essai statique est essentiellement un système fermé sauf pour les gaz dans lequel la composition chimique du milieu est contrôlée jusqu'au moment de l'inoculation. Ensuite, l'activité métabolique des algues inoculées change continuellement les conditions environnantes du système fermé. Il serait bon de noter ici que certains plans d'eau naturels peuvent servir aussi de milieu de vie pour les tests dits statiques.

Les raisons pour lesquelles ce genre de test n'a pas été plus utilisé pour l'étude de la toxicité sont principalement que les bio-essais avec les poissons étaient fort probablement d'intérêt socio-politique (espèces d'importance socio-économique), que l'effet toxique sur les chaînes trophiques inférieures est une préoccupation relativement récente et enfin que les premiers tests furent surtout utilisés comme indicatif du potentiel de croissance et non pour évaluer la toxicité.

Les bio-essais utilisant les algues servent surtout à mesurer la biomasse totale et le taux de croissance de ces dernières. Ces mesures peuvent servir à évaluer soit la toxicité de certains produits chimiques ou le potentiel toxique déjà présent dans l'échantillon étudié.

Avec les algues on retrouve pour les techniques d'écoulement en continu (Reynolds *et al.*, 1976) les mêmes inconvénients que ceux décrits au paragraphe 3.4.3. Elles sont plus complexes que les méthodes statiques, requièrent plus de temps, d'argent et de personnel entraîné pour leur opération. Ces tests ont été très peu utilisés pour l'étude des toxiques (Lin, 1977). Enfin, il existe un troisième type de procédure mentionné par Reynolds *et al.* (1976): le bio-essai avec algues en milieu semi-continu. Il s'agit d'un milieu de culture avec un volume fixe dont on retire à intervalle régulier une partie de la masse cellulaire, du substrat et des métabolites.

En général il est important de considérer dans les bio-essais avec les algues la durée du test, le pH, l'alcalinité, l'adaptation et le développement des souches résistantes. Ces dernières faussent les résultats car elles ne sont plus représentatives du type d'algues en présence dans un milieu non pollué et donc non résistantes aux toxiques. Les avantages d'utiliser les algues au lieu des poissons dans les bio-essais sont d'abord un court cycle de vie qui permet d'englober en moins de temps toutes les périodes les plus sensibles, un taux métabolique élevé amenant ainsi une réponse aux agressions toxiques plus rapidement et finalement l'absence de mécanisme de détoxification connu.

Cependant, la représentativité des résultats de ces tests en milieu naturel semble très criticable. D'abord, suite aux conditions ambiantes favorables à la croissance comme la température, la luminosité et l'absence de

prédations, la population atteinte durant les bio-essais peut être supérieure à celle obtenue dans un milieu naturel correspondant (Camp, 1974).

Egalement, dans un système fermé comme celui des tests statiques, l'activité métabolique altère continuellement les conditions du milieu environnant. La composition chimique n'étant en général vérifiée qu'avant l'inoculum, les phénomènes comme les variations de pH et la chélation des métaux rendant les substances toxiques moins disponibles fausse les résultats obtenus (Elorante, 1975). De plus les algues suite à un cycle de vie très court et à une forte reproduction s'adaptent rapidement aux conditions de laboratoire rendant les résultats difficiles à extrapoler en milieu naturel.

Ce type de bio-essai représente toutefois beaucoup d'avantages et il semblerait que son utilisation soit récemment plus courante dans les centres de recherche et même au niveau gouvernemental pour le contrôle. Cependant la valeur d'un outil quant à son potentiel à émettre des recommandations efficaces à protéger le milieu de vie aquatique semble trop sectoriel. Les algues ne sont qu'un maillon d'une chaîne alimentaire très complexe et la représentativité individuelle est loin d'être suffisante.

4.3 Les invertébrés

Plusieurs milieux de recherche entre autres certaines universités Américaines (Lee *et al.*, 1975; Little, 1977) et même certains ministères gouvernementaux entre autres les agences de bassin Françaises utilisent certaines espèces d'invertébrés pour évaluer la toxicité de différents types d'effluents. En fait cette utilisation est la conséquence de plusieurs avantages

face aux autres types de bio-essais. D'abord, contrairement aux tests de concentration létale médiane pour 96 heures (LC50, 96 hres) utilisant les poissons (tests pendant lesquels un faible pourcentage de la vie de l'organisme est considéré), certains invertébrés dont Daphnia ont un cycle de vie plus court que celui du poisson et donc un LC50 plus sensible est plus représentatif des effets toxiques possibles (Eaton, 1973).

Les effets chroniques et sous-léthaux produisant des problèmes de reproduction et des anomalies physiques peuvent être plus facilement mesurés avec certaines espèces d'invertébrés et ce, suite à une nombreuse progéniture à l'intérieur de leur court cycle de vie.

Du point de vue méthodologique les invertébrés offrent certains avantages physiques et financiers. Les bio-essais requièrent des systèmes de rétention d'eau relativement petits et ce afin de faciliter l'observation des organismes pendant l'étude (Craig, 1975; Maciorowski, 1975). De plus le coût pour équiper un laboratoire de toxicologie utilisant les invertébrés est environ 1/10 de celui utilisant des poissons; sans compter la possibilité d'exposer facilement plusieurs espèces simultanément (Craig, 1975).

Un dernier avantage concernant la représentativité de ces tests pour le milieu naturel est que l'utilisation d'invertébrés ajoute de l'information sur l'effet potentiel des polluants dans l'écosystème aquatique entier; des effets délétères sur les invertébrés qui font généralement partie benthos peut affecter les populations de niveau trophique supérieur souvent d'importance socio-économique plus grande.

4.3.1 Zooplancton

Vu son utilisation importante comme organisme test dans les milieux scientifiques ainsi que dans plusieurs raffineries pétrolières (Little, 1977), il serait justifiable de s'attarder sur l'organisme *Daphnia*.

Le bio-essai avec *Daphnia* est un test très utile puisqu'il implique un minimum d'efforts pour l'analyse des rejets toxiques. La grosseur de *Daphnia* réduit significativement la quantité d'équipement, d'espace et de volume d'effluents nécessaires pour conduire ce bio-essai. La quantité de *Daphnia* à conserver et à transporter étant faible, l'utilisation de ce test sur le terrain est facilitée. De plus, à ces avantages s'ajoute celui de la non-nécessité d'aérer les milieux étudiés.

En général *Daphnia* est un organisme souhaitable à cause de sa bonne sensibilité il est relativement peu dispendieux, facilite à maintenir en vie en laboratoire et il est susceptible de servir de nourriture pour les poissons dans les eaux douces (Lee et al., 1975).

Certains désavantages ressortent de la littérature (Brouzes et Naish, 1975; Maciorowski, 1975). D'abord on signale qu'une diminution de la température normale entraîne un ralentissement très sensible du métabolisme compte tenu surtout de la grosseur de cet organisme et de son taux métabolique relativement élevé. Cette modification du milieu ambiant entraîne par le fait même une augmentation de la tolérance aux substances toxiques. D'autre part, dans les bio-essais dits léthaux la durée du bio-essai peut être un problème; parfois les Daphnies peuvent demeurer en état de stress prononcé pour plusieurs heures. Le moment précis de la mort devient alors difficile à déterminer.

Il arrive également suite à des tests répétés sur plusieurs produits chimiques que certaines conditions, par exemple l'âge des organismes tests, l'état physiologique de la femelle ovigère ou encore la santé du groupe d'organismes dans le laboratoire produisent des résultats non-significatifs suite à leur hétérogénéité. Enfin, selon Maciorowski (1975), si une grande quantité d'essais doivent être exécutés il en découle un prix substantiel.

Comme les poissons et les algues, les invertébrés sont un outil valable pour donner certaines indices du niveau de toxicité. Cependant, considérés individuellement ils sont insuffisants à protéger adéquatement la ressource eau.

Il serait intéressant d'élaborer une critique plus complète en étudiant d'autres organismes comme les escargots, protozaires, crabes (Boelens, 1976; Boyes, 1975; Kittredge, 1975) également utilisés pour la surveillance biologique de la toxicité mais l'étude plus approfondie de ces derniers dépasserait du cadre de ce mémoire.

CHAPITRE 5

DISCUSSIONS

5. DISCUSSIONS

Suite à une aussi grande variété de méthodes d'évaluation et à leurs multiples avantages et désavantages, le gestionnaire peut sembler démuné. De plus les bio-essais dans leur ensemble ont été utilisés hors de toute stratégie d'intervention et sont insuffisants à protéger des multiples formes de vie susceptibles d'être agressées par les substances toxiques.

Pour faire un juste choix, il faut situer l'analyse dans le contexte de la problématique de l'agression toxique et des moyens pour la minimiser. L'objectif des études biologiques consiste essentiellement en l'évaluation juste et réelle des phénomènes reliés à l'action des agents d'agression sur le vivant. Permettre aux formes vivantes de prospérer dans un milieu de vie sain plutôt que d'uniquement y survivre relève de la finalité d'une stratégie d'intervention globale telle que celle brièvement développée au chapitre 2.

Du point de vue écologique la méthode idéale pour mesurer les effets de l'agression toxique en est une qui tient compte de l'ensemble de la communauté aquatique (Beak and Applebry, 1971) et ce autant animale que végétale plutôt que de certains individus. Les interrelations entre les composantes d'un écosystème aquatique sont très complexes et souvent inconnues. Les organismes interagissent entre eux de multiples façons entre autres au niveau de la nourriture, lumière, espace de vie, prédation, compétition, etc.

Il est donc impossible de pouvoir évaluer l'effet d'une agression toxique sur le comportement d'un écosystème si les composantes et interrelations même de ce système sont peu ou pas connus. Les études sur le terrain pour examiner les effets des polluants sur l'écosystème sont très difficiles à

exécuter et encore plus à fournir une approche réaliste à l'évaluation des modifications induites suite à cette agression (Cowell, 1974).

Les évaluations biologiques se situent donc à deux niveaux distincts. D'abord l'évaluation avec les LT50 et autres bio-essais de laboratoire ne donnent que des valeurs relatives de toxicité sous des conditions contrôlables; elle demeure une approche trop sectorielle pour suffir à estimer de façon juste l'effet que peut avoir l'agression toxique (Menzel, 1977). Ensuite l'évaluation plus globale par une étude des réactions écologiques du système vivant face à la pollution toxique, approche qui est excessivement risquée étant donné le peu de connaissances que l'on a des interrelations de ses composantes. Puisque la problématique de l'évaluation de l'effet de l'agression est partie intégrante de la stratégie d'intervention globale pour contrer l'agression toxique la solution devrait donc se situer dans un compromis entre ces deux méthodologies.

Selon Mount, 1977, l'étude biologique de la qualité d'une eau devrait suivre deux techniques majeures: d'abord une étude prédictive des effets qualitatifs et quantitatifs sur la biocénose, suivie ensuite d'une étude plus approfondie des modifications encourues aux fonctions majeures du cours d'eau (ex.: potentiel récréatifs).

Ce mémoire traite essentiellement des méthodes inhérentes à la première tendance en discourant sur leurs avantages et désavantages d'ailleurs résumés au tableau V. Cette brève synthèse est évidemment incomplète mais tente de regrouper les méthodes les plus utilisées.

TABLEAU V: Schématisation du résumé critique des différents types de bio-essais

Bio-essais général		
Bio-essais léthaux	Organismes	Bio-essais sous-léthaux
- En milieu statique	- Poissons	- Physiologique et biochimique
- En milieu semi-continu	- Algues	- Comportement
- En milieu continu	- Invertébrés	
- In Situ		

Résumé critique des bio-essais en général

Avantages

- . Evaluation globale des effets toxiques
 - synergisme
 - antagonisme, etc.
- . Index global de la condition globale de l'environnement
- . Méthode d'évaluation la plus simple des dangers potentiels des polluants
- . Démonstration rapide d'agression toxique létale pour le biotope

Désavantages

- . Pas une méthode d'évaluation absolue
 - précipitation
 - oxydo-réduct, etc.
- . Représentativité partielle des conditions naturelles
 - confinement
 - eau de dilution
- . Sensibilité inter et intra-spécifique variable

Résumé critique des deux principaux types de bio-essais

Léthaux

Avantages

- . Estimé rapide de la toxicité
- . Opérationnalisation simple et peu coûteuse

Désavantages

- . Peut masquer des effets toxiques importants
 - sous-léthaux
 - long terme
- . Faible indication des valeurs utiles pour protéger le milieu de l'agression toxique

Sous-léthaux

Avantages

- . Grande sensibilité (tests étudiant les effets sur la reproduction)
- . Meilleure indication des valeurs utiles pour protéger le milieu de l'agression toxique
- . Indication de changements non-souhaitables avant qu'ils ne deviennent irréversibles

Désavantages

- . Appareillage complexe et dispendieux
- . Phénomène de bio-accumulation dans les tissus ignoré
- . Difficulté d'extrapolation de ces données
 - pour utilisation pratique
 - pour évaluer l'effet sur une population naturelle

Résumé critique des principaux types de bio-essais léthaux

Milieu Statique

Avantages

- . Simplicité d'appareillage, d'opération
- . Peu coûteux
- . Procédure bien documentée
- . Sont, à court terme, les tests les plus simples
- . Idéal pour une première estimation rapide de la toxicité
- . Possibilité de faire un grand nombre d'échantillons simultanément et rapidement
- . Bonne réponse statistique

Désavantages

- . Difficultés à garder les concentrations de toxiques constantes dans le milieu suite à la volatilisation ou absorption par les organismes ou encore suite à une cumulation de rejets métaboliques
- . Variations d'autres paramètres qui nécessiteraient un contrôle
- . Résultats peu représentatifs du milieu naturel

Milieu simi-continuAvantages

- . Garde les concentrations relativement constantes
 - élimination des métabolites
- . Simple et relativement dépendant
- . Requierit relativement peu de toxiques

Désavantages

- . Organismes peuvent être stressés au cours de remplacement du milieu
- . Requierit une attention régulière de l'opérateur
- . Peu utilisé et peu élaboré dans la littérature

Milieu continuAvantages

- . Concentration du toxique constante
- . Bonnes méthodes disponibles
- . Fiabilité pour indiquer les effets toxiques possibles sur l'organisme
- . Méthodologie bien documentée
- . Très adéquat pour protéger le milieu de vie aquatique

Désavantages

- . Appareillage élaboré et volumineux
- . Personnel qualifié requis
- . Coûts parfois prohibitifs
- . Quantité et qualité de l'eau de dilution exigeante
- . Lorsque l'eau n'est pas recirculée peut nécessiter de grandes quantités de toxiques.

Résumé critique des principaux types de bio-essais léthauxIn SituAvantages

- . Inclut l'ensemble des conditions du milieu récepteur
- . L'utilisation d'espèces locales est plus facile

Désavantages

- . Difficile de mesurer et observer les effets
- . Difficile d'interpréter les résultats
- . L'observation des organismes peut causer un stress supplémentaire à ces derniers
- . Impossibilité de connaître précisément les variations physiques et chimiques du milieu
- . Difficulté à contrôler les variations des toxiques
- . Confinement des organismes modifie leurs réactions normales

Résumé critique des principaux types de bio-essais sous-léthaux

Physiologique-Biochimique

Avantages

- . Permet la mesure d'effets sensibles sur certains processus vitaux essentiels
- . Paramètres mesurés et contrôlables plus facilement que le comportement

Désavantages

- . Connaissances du fonctionnement des systèmes vivants insuffisantes pour relier le comportement des systèmes physiologiques et biochimiques aux performances normales des organismes étudiés
- . Phénomènes plus globaux comme la compétition, disponibilité de la nature non considérés

Résumé critique des principaux types de bio-essais sous-léthaux

Comportement

Avantages

- . Peut fournir une représentation partielle et utile des effets possible en nature
- . Englober l'ensemble des effets mesurables et non-mesurables d'une agression

Désavantages

- . Difficilement analysables en laboratoire et difficile à extrapoler pour le milieu naturel
- . Notions du comportement en milieu naturel normal souvent inconnues
- . Peut masquer des effets nocifs très spécifiques qui se concrétisent que beaucoup plus tard

Résumé critique des principaux types d'organismes utilisés
dans les bio-essais

Poissons

Avantages

- . Facilité d'observation
 - mort
 - réactions physiologiques
- . Manipulation aisée
- . Grande sensibilité (plus que l'homme)
- . Supplante les limites imposées par les déterminations physiques et chimiques de la pollution
- . Les tests physiologiques raccourcissent la période de temps nécessaire pour déterminer le niveau limite de toxicité

Désavantages

- . Sensibles à d'autres facteurs que la toxicité (O_2 , pH, salinité, température)
- . Surveillance de l'oxygène dissous nécessaire
- . Nécessite de grandes quantités d'eau
- . Ne tient pas compte de la sensibilité d'autres chaînes trophiques
- . Après un premier contact avec le toxique il est difficile d'évaluer l'effet (ex.: tests physiologiques)
- . Le confinement et le mode de nutrition de l'organisme amènent des comportements peu reliés à ceux retrouvés en nature

Résumé critique des principaux types d'organismes
utilisés dans les bio-essais

Algues

Avantages

- . Représentant des chaînes trophiques inférieures
- . Court cycle de vie
- . Taux métabolique élevé (réponse rapide aux toxiques)
- . Absence de mécanisme de détoxification connu
- . Adaptation rapide aux conditions de laboratoire

Désavantages

- . Développement possible de souches résistantes
- . Faible sensibilité aux toxiques
- . Variations possibles du pH suite à leurs activités métaboliques
- . Altération générale des conditions environnantes par leur métabolisme (ex.: chélation des métaux par la matière organique)

Invertébrés

Avantages

- . Court cycle de vie (inclusion des des périodes sensibles)
- . Perception facile des anomalies de de reproduction (progéniture nombreuse)
- . Requier peu d'eau
- . Faible coût (1/10 de celui des poissons)
- . Organismes de chaînes trophiques inférieures
- . Bonne sensibilité aux toxiques

Désavantages

- . Sensibles aux variations de température
- . Difficulté à déterminer le moment précis de la mort (stress prolongé)
- . Homogénéité des stocks difficile à obtenir

Suite à cette énumération l'on prend vite conscience du fait que l'évaluation des effets ne peut qu'être basée sur un nombre fini de critères discutables et qu'entre auteurs les organismes vivants sont nombreux et ne peuvent être très pris en considération, il devient nécessaire d'établir certains critères relatifs aux besoins justifiant l'utilisation de telles procédures.

Certains des impératifs scientifiques, pratiques et économiques majeurs concernant les tests biologiques seraient notamment:

- la disponibilité des tests: les protocoles expérimentaux doivent être standardisés ou tout au moins décrits avec précision afin d'être appliqués de façon comparable dans divers laboratoires;
- la signification des tests: on entend ici le potentiel de ces tests à mettre en évidence et à évaluer les nombreux effets toxiques susceptibles d'affecter l'homme et son environnement;
- la complexité et la technicité des tests: contrainte qui risque de limiter les possibilités d'application des tests à des laboratoires possédant des équipements ou des compétences très particulières;
- la fiabilité des tests: afin de pouvoir utiliser avec profit des données provenant de différents laboratoires il est indispensable que les tests produisent des résultats répétées et reproductibles;

- le coût et le délai de réponse des tests: ces contraintes inévitables peuvent constituer des impossibilités pratiques et économiques si les tests concernés ont une signification limitée et ne sont pas considérés comme indispensables.

De plus, il est de première importance qu'avant de choisir un bio-essai particulier, les critères ci-haut mentionnés soient étudiés en fonction des objectifs recherchés établis auparavant, et de plus tenir compte de l'intérêt de l'information obtenu par rapport à son prix de revient.

Concernant la deuxième tendance majeure, une étude plus approfondie des effets de l'agression toxique sur les fonctions majeures d'un cours d'eau et moins des effets sur le comportement d'individus ou d'espèces sélectionnées devient nécessaire. Des exemples de ces fonctions majeures seraient par exemple la variation du taux de décomposition de la matière organique, la production photosynthétique d'O₂, le potentiel récréationnel, la production des poissons, le taux d'accumulation des résidus etc. En fait il est beaucoup plus facile de mesurer avec une bonne précision et d'interpréter ces types de résultats en fonction de l'utilisation par l'homme (Brown, 1971) que des études sur certains organismes plus ou moins connus. Le recueil et l'analyse de l'ensemble de ces techniques pourrait faire le sujet d'une autre étude afin de mettre au point des méthodes facilement utilisables et dont les résultats sauraient être appliquées efficacement afin de protéger nos cours d'eaux.

CHAPITRE 6

CONCLUSIONS

6. CONCLUSIONS

- 1- Considérant le fait que la pollution par les substances toxiques attaque directement et indirectement les humains en affectant leur métabolisme normal, cette forme de pollution doit être considérée comme une des parties les plus importantes du vaste et complexe problème de la pollution des eaux.
- 2- La pollution par les substances toxiques étant provoquée par un nombre important et toujours croissant, dans le temps et l'espace, d'une très grande variété de substances, l'approche systémique semble donc très appropriée à cerner la problématique dans le but d'en déduire des solutions adéquates afin de minimiser l'agression.
- 3- Il est de première importance de posséder des outils efficaces permettant d'évaluer, de façon la plus objective, la qualité des rejets et des cours d'eau sujets à l'intervention. Parmi les moyens disponibles visant à détecter et à contrôler l'agression toxique, le bio-essai semble être le plus approprié et le plus utilisé.
- 4- Bien que les bio-essais léthaux aient été les plus utilisés pour la caractérisation de la toxicité d'effluents, il y a aujourd'hui une tendance très marquée pour la substitution de ces derniers par des bio-essais sous-léthaux.
- 5- Les bio-essais léthaux ont l'avantage d'estimer rapidement la toxicité et de nécessiter qu'une opérationnalisation simple et peu coûteuse. Cependant leur principal inconvénient est qu'ils peuvent masquer des

effets toxiques importants à long terme et ils sont une très faible indication des valeurs utiles pour protéger le milieu de l'agression toxique.

- 6- Les bio-essais sous-léthaux ne présentent pas les inconvénients observés pour les bio-essais léthaux. Ils ont l'avantage d'avoir une grande sensibilité et de fournir de meilleures indications des valeurs utiles à protéger le milieu aquatique.
- 7- Toutefois, les bio-essais sous-léthaux nécessitent un appareillage complexe et dispendieux. Ils ne peuvent tenir compte de certains phénomènes tel la bio-accumulation dans les tissus et ils sous tendent plusieurs difficultés d'extrapolation des données obtenues pour une utilisation pratique.
- 8- Les bio-essais léthaux en milieu statique sont les plus simples et probablement, c'est la méthode qui fut la plus utilisée pour déterminer une première valeur de la toxicité relative d'un effluent. Cependant la composition physico-chimique du milieu étudié varie de façon inacceptable.
- 9- Les bio-essais léthaux en milieu semi-continu ne consistent qu'en une solution mitoyenne entre le bio-essai en milieu statique et en continu et demeurent un outil très peu employé.
- 10- Les bio-essais léthaux en milieu continu sont, parmi les tests léthaux ceux qui sont le plus susceptibles d'indiquer les effets toxiques potentiels d'un polluant sur les organismes aquatiques. Cependant le

coût et le personnel nécessaire demeurent des contraintes sérieuses à son application.

- 11- Les bio-essais léthaux in situ amènent certaines difficultés d'interprétation des résultats à cause de conditions expérimentales non contrôlables mais ils demeurent toutefois un outil valable pour détecter l'existence d'un problème potentiel dans un cours d'eau.
- 12- Les bio-essais sous léthaux de type physiologique et biochimique, malgré une très grande sensibilité des paramètres étudiés, sont généralement inadéquats à relier le comportement des systèmes physiologiques ou biochimiques aux performances normales des individus considérés comme un tout.
- 13- Les bio-essais utilisant les poissons sont d'une grande importance pour indiquer à première vue le niveau de toxicité d'un produit quelconque mais sont très insuffisants pour protéger la vie des niveaux trophiques inférieurs présents dans un cours d'eau.
- 14- Les bio-essais utilisant les algues ont l'avantage d'inclure des niveaux trophiques inférieurs généralement non considérés. Ce type de bio-essai représente beaucoup d'avantages; cependant la valeur d'un tel outil quant à son potentiel à émettre des recommandations efficaces à protéger le milieu de vie aquatique semble trop sectoriel.
- 15- Les bio-essais utilisant les invertébrés sont également des outils d'évaluation de la toxicité très employés mais dont la représentativité

dans le milieu naturel comme l'ensemble des bio-essais demeure limitée.

- 16- Les bio-essais de comportement de groupes diversifiés d'animaux test ou encore d'écosystèmes simulés seraient de façon idéaliste les types d'essais les plus aptes à évaluer le potentiel agresseur d'agents toxiques dans le milieu naturel. Leur méthodologie d'application n'est cependant pas au point et plusieurs contraintes majeures ralentissent de façon très sensible le développement de ces derniers.

CHAPITRE 7

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

7. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

AMIARD, J.C. (1976).

"Les variations de la phototaxie des larves de crustacés sous l'action de divers polluants métalliques: mise au point d'un test de toxicité subléthale", *Marine biology*, 34, pp. 239-245.

ARNOLD, D.J. et D.E. KEITH. (1976).

"A simple continuous-flow respirometer for comparative respiratory changes in medium-sized aquatic organisms", *Water Research*, 10, pp. 261-263.

BALLINGER, D.G. (1971).

"Decisions to be made in the use of automatic water quality monitors", dans International Symposium on Identification and Measurements of Environmental Pollutants, Ed: B. Westley, C.N.R.C. Ottawa, Canada, pp. 158-162.

BARBIER, R. (1976).

"Considérations générales sur les tests biologiques en milieu dulçaquatique", *Tech. et Sci. Mun.*, 71, no 6, pp. 265-270.

BATHE, R. *et al.* (1977).

"Relationship between Toxicity to fish and to mammals: a comparative study under defined laboratory conditions", *Proc. European Soc. Toxicol.*, 17, pp. 351-355.

BEAK, T.W. et A.G. APPLEBY. (1971).

"Biological Techniques for the measurement of Water Pollution", dans International Symposium on Identification and Measurements of Environmental Pollutants", Ed: B. Westley, C.N.R.C., Ottawa, Canada, pp. 310-313.

BESCH, W.K., A. KEMBALL, K. MEYER-WAARDEN and B. SCHARF. (1977).

"A Biological Monitoring System Employing Rheotaxis of Fish", dans "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", Ed: J. Cairns Jr., K.L. Dickson and G.F. Westlake, ASTM STP 607, pp. 56-74.

BOELEN, R.G. (1976).

"Measuring Toxicity of Pollutants to aquatic Life", *Tech. Ireland*, 8, No 3.

BOUCHER, F.R. (1971).

"A review of Water Quality Monitoring Systems", dans International Symposium on Identification and Measurements of Environmental Pollutants", Ed: B. Westley C.N.R.C., Ottawa, Canada, pp. 167-170.

BOVEE, E.C. (1975).

"Effects of Certain Chemical Pollutants on small aquatic animals". N.T.I.S. PB-241-336, Kansas Water Resources Research Institute, 11 pages, 4 fig., 9 réf.

BRENNIMAN, G., R. HARTUNG et W.J. WEBER, JR. (1976).

"A continuous Flow Bioassay method to evaluate the effects of outboard motor exhausts and selected aromatic toxicants on fish". *Water Research*, 10, pp. 165-169.

- BROUZES, R.J.P. et V.A. NAISH. (1975).
 "Acute toxicity of pulp and paper mill effluents using *Daphnia* and rainbow trout as test animals", dans: "Second Annual Aquatic Toxicity Workshop, proceedings", Ed: Gr. Craig, pp. 54-66. Ontario Ministry of Environment, Water Resource Branch, 340 p.
- BROWN, R.D. (1971).
 "The use of Biological analyses as indicators of water quality", *Journal of Environmental Health*, 34, No 1, pp. 62-66.
- BROWN, V.M. (1971).
 "Concepts and outlook in Testing the toxicity of substances to fish". dans: "Bioassay techniques and environmental chemistry", Ed: G.E. Glass, pp. 73-96. E.P.A. Arbor Science Publishers, Inc. 499 p.
- BUTRICO, F.A. (1969).
 "Early Warning Systems Concerned with Environmental Contaminants", *Am. J. Publ. Health*, 59, No 3, pp. 442-447.
- CAIRNS, J. Jr., K.L. DICKSON et G.F. WESTLAKE. (1976).
 "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", *A.S.T.M.*, S.T.P. 607, 246 p.
- CAMP, F. (1974).
 "The application of Algal Growth Potential Techniques to Surfactant and Zinc Toxicity Studies", Ann Arbor, Michigan University, 157 p.
- COMMITTEE ON METHODS FOR TOXICITY TESTS WITH AQUATIC ORGANISMS. (1975).
 "Methods for Acute Toxicity Tests with fish, macroinvertebrates and amphibians", National Water Quality Laboratory, EPA-660/3-75-009, 54 p.
- COUILLARD, D. (1975).
 "Problématique de l'évaluation environnementale, l'approche systémique et la prise de décision", rapport interne no 51, 38 p. INRS-Eau, Université du Québec, Québec.
- COUILLARD, D. (1977).
 "Cadre formel pour l'évaluation d'impact environnemental dans le processus décisionnel", *Eau du Québec*, 10(4), novembre, pp. 306-310.
- COUILLARD, D. et R. TRUDEL. (1978).
 "Modèle de la gestion du territoire et des ressources et scénario d'évaluation des impacts", *Eau du Québec*, 11(1), février, pp. 9-13.
- COWELL, E.B. (1974).
 "A critical Examination of Present Practice", dans "Ecological aspects of Toxicity testing of oils and dispersants", Ed: L.R. Beynon et E.B. Cowell, pp. 97-104.
- COX, J.L. (1974).
 "The use of the Dilution Water Effect as a Water Quality Criterion", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 11, No 3, pp. 256-257.
- CRAIG, Gr. (1975).
 "Second Annual Aquatic Toxicity Workshop", Ontario Ministry of Environment, Water Resource Branch, 340 p.

DAVIS, J.C. (1975).

"Important considerations in acute and sublethal bioassay procedures for water quality studies with aquatic life: a review", dans "1975 Aquatic Toxicity Coordination Conference, Toxicity Workshop", pp. 19-47.

DELISLE, A. (1978).

"Le problème des toxiques au Québec", synthèse des travaux sur la problématique de la présence de substances toxiques dans l'environnement Québécois. Bureau d'Etude sur les Substances Toxiques, Services de Protection de l'Environnement, Gouvernement du Québec, Québec.

DESCOTEAUX, Y. et M. DENIS. (1977).

"Les moyens d'intervention face à la présence de substances toxiques dans l'environnement", 31 p. Services de Protection de l'Environnement, Gouvernement du Québec, Québec.

DOUDOROFF, P. (1977).

"Keynote Address - Reflections on Pickle - Jar Ecology", dans: "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", Ed: J. Cairns Jr., ASTM STP 607, pp. 3-19.

DRAWAS, N. et R. P. HERBST. (1977).

"The determination of the Toxicity of industrial effluents using on onsite bioassay system, Proceeding", Institute of Environmental Sciences, pp. 36-40.

EATON, J.G. (1973).

"Recent developments in the use of laboratory bioassays to determine safe levels of Toxicants for fish", dans: "Bioassay Techniques and environmental chemistry", Ed: G.E. Class, pp. 107-118, Ann Arbor Science 2245, 499 pp.

ELORANTA, V. (1975).

"Modified bioassay procedure for Toxic effluents", J.W.P.C.F., 47, No 8, pp. 2172-2177.

FALK, M.R. (1973).

"Simple Apparatus for conducting acute Toxicity bioassays under field conditions", Water Research, 7, pp. 821-822.

FORSBERG, C.G. (1972).

"Algal assay procedure", J.W.P.C.F., 44, No 8, pp. 1623-1628.

GERHOLD, R.M. (1973).

"Mobile Bioassay Laboratories", Biological Methods for the Assessment of Water Quality, ASTM STP 528, pp. 242-256.

HAMILTON, E.I. (1976).

"Review of the chemical elements and environmental chemistry - strategies and tactics", The Science of the Total Environment, 5, pp. 1-62.

HARICHAUX, P. et J. GOUIN. (1976).

"Comportement respiratoire du poisson d'eau douce dans les conditions du confinement et du semi-confinement aquatique", Rev. Intern. Oceanogr. Med., Tome XLIII, pp. 97-110.

HENDERSON, C. (1957).

"Application factors to be applied to Bioassays for the safe Disposal of Toxic Wastes", dans "Biological Problems in Water Pollution", Ed: C.M. Tarzwell, U.S. Department of Health, Education and Welfare, pp. 31-37.

HENDERSON, C. et Q.H. PICKERING. (1963).

"Use of Fish in the Detection of Contaminants in Water Supplies", A.W.W.A., 55, No 6, pp. 715-720.

HOLDGATE, M.W. (1971).

"The need for Environmental Monitoring", dans: International Symposium on Identification and Measurements of Environmental Pollutants, Ed: B. Westley, Ottawa, Ontario, C.N.R.C., pp. 1-8.

KOPKIN, D.V. et M.J. PEARSON. (1971).

"Use of Fish as indicators", Association of River Authorities, Year Book 1973, England, pp. 215-129.

HORNING, W.B. II, (1977).

"Research Related to Biological Evaluation of Complex Wastes", dans: "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", Ed: J. Cairns Jr., A.S.T.M., STP607, pp. 191-192.

HOWARD, P.H. (1975).

"Establishing environmental priorities for synthetic organic chemicals: focusing on the next PCB's. In Papers of a Seminar on early warning systems for toxic substances". Conference report APE - 560/1-75/003.

KITTREDGE, J.S. *et al.* (1975).

"Bioassays indicative of some sublethal effects of oil pollution", University of Texas, Medical Branch, NTIS AD/A-014-459, pp. 891-897.

LAROCHE, G. (1974).

"Toxic responses in aquatic organisms", dans "Industrial Pollution", Ed: N.I. Say Van Nostrand Reinhold, pp. 101-117.

LADD, E.C. (1977).

"An Industrial View of Biological Monitoring", dans "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", Ed: J. Cairns Jr., ASTM STP 607, pp. 24-29.

LAGERWERFF, J.V. (1975).

"Seven Thoughts on Heavy Metal Research", dans "International Conference on Heavy Metals in the Environment", Toronto, Ontario, octobre 1975, pp. C-11 - C-13.

LEE, D.R., A.L. BUIKERUA Jr. et J. CAIRNS Jr. (1975).

"Development of a Field Bioassay Using *Daphnia pulex*" dans "1975 Aquatic Toxicity Coordination Conference, Toxicity Workshop", pp. 250-265.

LEE, F.D. et G.D. VEITH. (1971).

"Chemical aspects of Bioassay techniques for establishing water quality criteria", presented before The American Chemical Society Meeting, in Washington D. C. september 1971, 38 p.

LIN, C.K. (1977).

"Continuous flow culture of benthic diatoms and its application to bioassay", J. Phycol., 13, pp. 267-271.

LITTLE, L.W. (1977).

"Bioassays - procedures and results", J.W.P.C.F., 49, No 6, pp. 1244-1254.

LUBINSKI, K.S. et R.E. SPARKS. (1974).

"The development of Toxicity indices for assessing the quality of the Illinois River", University of Illinois, W.R.C. - 74-0096, pp. 36-39.

MACIOROWSKI, A.F. (1975).

"An inexpensive macroinvertebrate bioassay table for use in continuous flow toxicity tests", Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 13, No 4, pp. 420-423.

MACIOROWSKI, H.D. (1975).

"Invertebrate bioassay - why not!", dans "Second Annual Aquatic Toxicity Workshop 1975 Proceedings", Ed: Gr. Craig, pp. 237-249, november 1975, pp. 340.

MALINA, J.F. Jr. (1970).

"Toxicity of industrial wastes to aquatic organisms", Water Resource Management, 1, pp. 1-7.

MANCY, K.H. (1971).

"Instrumental Analysis for Water Pollution Control", Ann Arbor Science Publishers Inc., Michigan, 331 p..

MATULOVA, D. (1969).

"Stream Pollution examination by biological tests", dans "Proceeding of the fourth Inter. Conf. held in Prague", Ed: H. Jenkins, pp. 659-669.

MENZEL, D.W. (1977).

"Summary of experimental results: controlled ecosystem pollution experiment", Bulletin of Marine Science, 27, No 1, pp. 142-145.

MORGAN, W.S.G. (1977a).

"An Electronic System to Monitor the Effects of Changes in Water Quality on Fish Opercular Rhythms", dans "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", Ed: J. Cairns Jr., K.L. Dickson et G.F. Westlake, ASTM STP 607, pp. 38-55.

MORGAN, W.S.G. (1977).

"Biomonitoring with fish: an aid to industrial effluent and surface water quality control", Prog. Water. Tech., 9, pp. 703-711.

MOUNT, D.I. (1974).

"The role of Bioassays in Environmental research", Aerospace Medical Research Laboratory, N.T.I.S., pp. 45-50.

MOUNT, D.I. (1977).

"Biotic Monitoring", dans "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", Ed: J. Cairns, Jr., K.L. Dickson et G.F. Westlake, ASTM STP 607, pp. 20-23.

PAWLACZYK - SZPILOWA, M., M. MOSKAL et J. WERETELNIK. (1972).

"The usefulness of biological tests for determining the toxicity of some chemical compounds in waters", *Acta Hydrobiologica*, 14, No 2, pp. 115-127.

POELS, C.L.M. (1977).

"An Automatic System for Rapid Detection of Acute High Concentrations of Toxic Substances in Surface Water Using Trout", dans "Biological Monitoring of Water and Effluent Quality", Ed: J. Cairns Jr., K.L. Dickson et G.F. Westlake, ASTM STP 607, pp. 85-95.

REYNOLDS, J.H., E.J. MIDDLEBROOKS, D.B. PORCELLA et W.J. GREUNEY. (1976).

"Comparison of Semi-continuous and continuous flow bioassays", dans "Biostimulation and Nutrient Assessment", Ed: E.J. Middlebrooks, D.H. Falkenbory et T.E. Maloney, pp. 241-264. Ann Arbor Science, 390 pp.

SASSEVILLE, J.L. et H. ST-MARTIN. (1977).

"Planification de l'acquisition des données de qualité de l'eau au Québec. Tome 2: Processus de régulation de la qualité des eaux d'un bassin", rapport scientifique no. 33, 760 p., INRS-Eau, Université du Québec, Québec.

SASSEVILLE, J.L. (1977).

"L'agression Toxique", rapport scientifique No. 82, 46 p., INRS-Eau, Université du Québec, Québec.

§

SCHEIER, A. et D.T. BURTON. (1973).

"A description of bioassay flow-through techniques and the use of bioassay to measure the effects of low oxygen at the whole animal and the molecular level", dans "Bioassay techniques and environmental chemistry", Ed: G.E. Glass, pp. 335-344, Ann Arbor Science, Michigan.

SCHIEFER, K. et D. LUSH. (1975).

"Environmental monitoring: A new requirement for the mining industry", *Canadian Mining Journal*, 96, No 5, pp. 52-54.

SUTCLIFFE, W.H. Jr. et G.A. ORR. (1976).

"Difficulties with ATP measurements in inshore waters", *Limnol. and Oceanogr.*, 21, pp. 145-149.

SPARKS, R.E., J. CAIRNS Jr. et A.G. NEATH. (1972).

"The use of bluegill breathing to detect zinc", *Water Resources*, 6, pp. 895-911.

SPRAGUE, J.B. (1969).

"Measurement of Pollutant Toxicity to fish, I - Bioassay methods for acute toxicity review paper", *Water Research*, 3, pp. 793-821.

SPRAGUE, J.B. (1973).

"The ABC's of Pollutant Bioassay Using Fish", dans "Biological methods for the assessment of water quality", Ed: J. Cairns et K.L. Dickson, ASTM STP 528, pp. 6-30.

SUGIURA, K., S. SATO et M. GOTO. (1976).

"Toxicity Assessment using an aquatic microcosm", *Chemosphere*, 2, pp. 113-118.

SUTCLIFFE, W.H. Jr. et G.A. ORR. (1976).

"Difficulties with ATP measurements in inshore waters", *Limnol. and Oceanogr.*, 21, pp. 145-149.

TARZWELL, C.M. (1962).

"The need and value of water quality criteria with special reference to aquatic life", *Can. Fish. Cult.*, 31, pp. 35-41.

TRUDEL, R. et D. COUILLARD. (1977).

"Problématique de l'évaluation environnementale". *Eau du Québec*, 10(3), août, pp. 223-226.

VANDERHORST, J.R. (1977).

"Continuous - flow Apparatus for use in Petroleum Bioassay", *Bulletin of Environmental Contamination & Toxicology*, 17, No 5, pp. 577-584.

VIGERS, G.A. et A.W. MAYNARD. (1977).

"The residual oxygen bioassay: a rapid procedure to predict effluent toxicity to rainbow trout", *Water Research*, 11, pp. 343-346.

WARREN, C.E. (1976).

"Toward a conceptual System for Water Pollution Biology" dans "Handbook of Water Resources and Pollution Control". pp. 157-215, Ed: Vaiei, J.I. Breguan et H.W. Gehon, 1976, 840 p.

ANNEXE "A"

DEFINITION DE CERTAINS TERMES

ANNEXE ADéfinition de certains termes

Agresseur:

Association de facteurs produisant une "substance altéragène toxique" en un point donné dans l'espace et dans le temps.

Agression toxique:

Processus par lequel une substance altéragène toxique détériore une ou plusieurs fonctions métaboliques exerçant ainsi des effets délétères et qui débouchent nécessairement sur des perturbations naturelles, sociales, politiques ou économiques.

Altéragène environnemental:

Substance, facteur ou association organisée de substances et de facteurs capables de provoquer une altération de la santé ou du bien-être de l'homme et de son patrimoine environnemental.

Bio-essai:

Un test dans lequel un organisme vivant ou un groupe d'organismes est utilisé (sous des conditions artificielles) comme réactif pour la détermination de l'activité physiologique potentielle de toute substance de force et activité inconnue.

Dose ou concentration efficace (ED ou EC 10 ou 90, 96 hres):

Dose ou concentration en toxique qui entraîne un effet léthal ou subléthal chez 10 ou 90% des individus après une période de 96 heures lors d'un bio-essai léthal.

Environnement au sens large du terme:

L'environnement d'un objet est constitué par les autres objets faisant partie du même système et par les autres systèmes entourant ce dernier.

Indices de comportement:

Incertitudes bien circonscrites provenant de l'association logique d'évènements qui permettent de renforcer ou d'affaiblir la validité du scénario selon que l'on puisse ou non vérifier leur présence dans le milieu.

Scénario phénoméologique:

Synthèse associative de phénomènes se déroulant dans le milieu.

Seuil de létalité, "Incipient lethal level (ILL), "Lethal Treshold concentration (LTC)":

Dose toxique seuil au-delà de laquelle 50% des individus ne peuvent continuer à vivre pendant une période indéfinie.

Substances altéragène toxique:

"Substance toxique" qui, par son interférence avec les processus vitaux, est responsable de l'agression toxique.

Substance toxique:

Substance qui lorsque mise en contact avec un organisme vivant provoque de sa part une réaction spécifique ou non spécifique et compromet la réalisation de ses fonctions physiologiques au point d'entraîner des effets délétères qui peuvent de façon ultime résulter en la mort de ce dernier.

Surveillance biologique (monitoring);

Expression appliquée à une grande variété de techniques de surveillance qui utilisent la distribution qualitative ou quantitative et la réponse des organismes aux conditions environnementales.

Elles servent à la détermination:

- a) d'effets évidemment néfastes
- b) de changements équivoques mais corrélés à des désavantages

c) d'effets esthétiques mauvais

d) de normes de base pour évaluer un impact subséquent.

Temps létal médian (LT_m), temps de survie médian (ST_m):

Temps nécessaire à la moitié de la population pour mourir d'une concentration donnée de toxiques

Temps létal: LT_{10} ou 90:

Durée d'action du toxique à une dose ou concentration après laquelle 10 ou 90% des individus sont morts

Temps efficace: ET_{10} ou 90:

Durée d'action du toxique à une dose ou concentration après laquelle on constate chez 10 ou 90% des individus un effet précis (létal ou sub-létal).

Temps de manifesta-tion:

Temps mis par l'organisme pour manifester un signe particulier d'intoxication, perte d'habilité à la nage, fibrillation, toux, etc.

Temps de survie:

Temps durant lequel l'animal survit à une intoxication; généralement quand l'expérience est faite sur plusieurs animaux, il s'agit du temps de survie de 50% de la population.

Limite de tolérance médiane: TL_m 24, 48, 72 ou 96 hres:

Dose ou concentration en toxique tolérée par 50% des individus durant une période de 24, 48, 72 ou 96 heures.

Limite de tolérance TL_{10} ou 90, 96 hrs:

Dose ou concentration en toxique tolérée par 10 ou 90% des individus durant une période de 96 heures.

Toxicité chronique:

Implique un stimulus (dose ou concentration toxique) de manière continue durant une large période soit 1/10 ou plus de la durée de vie de l'animal.

Toxicité retardée:

La dose ou la concentration en toxiques occasionne un effet qui ne devient évident qu'après un certain délai.

Toxicité latente:

La dose ou la concentration en toxiques provoque chez l'organisme un effet qui ne se manifeste qu'en présence d'un indicateur particulier.

Toxicité réversible:

La dose ou la concentration en toxiques provoque un effet physiologique qui disparaît quand l'animal récupère en milieu sain.

Toxicité cumulative:

La dose administrée ou les concentrations de toxiques augmentent progressivement; suite à un taux d'intoxication progressif, l'effet induit s'amplifie et fait apparaître successivement différentes manifestations.

Toxicité létale-mort:

Causant la mort ou suffisante pour la causer par une action directe.

Toxicité sous-létale:

Sous le niveau causant la mort à court terme; elle peut entraîner indirectement la mort de l'animal à plus long terme.

Toxicité aigüe:

Implique un stimulus (dose ou concentration en toxiques) suffisamment élevée pour amener une réponse rapidement; ordinairement

on considère que la toxicité aiguë se manifeste en moins de 4 jours.