

Record Number: 820
Author, Monographic: Sasseville, J. L.
Author Role:
Title, Monographic: L'agression toxique
Translated Title:
Reprint Status:
Edition:
Author, Subsidiary:
Author Role:
Place of Publication: Québec
Publisher Name: INRS-Eau
Date of Publication: 1977
Original Publication Date:
Volume Identification:
Extent of Work: iv, 46
Packaging Method: pages
Series Editor:
Series Editor Role:
Series Title: INRS-Eau, rapport de recherche
Series Volume ID: 82
Location/URL:
ISBN: 2-89146-207-6
Notes: Rapport annuel 1977-1978
Abstract: Rapport rédigé pour les Services de protection de l'environnement du Québec
10.00\$
Call Number: R000082
Keywords: rapport/ ok/ dl

INRS-Eau
Université du Québec
C.P. 7500, Sainte-Foy
Québec G1V 4C7

RAPPORT SCIENTIFIQUE No 82
1977

Rapport rédigé pour
Les Services de protection de l'environnement du Québec

L'agression toxique

par
J.L. Sasseville

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier M. Louis Rousseau pour la critique éclairée qu'il a faite de ce document ainsi que Mlles Andrée Baillargeon, Lise Raymond et Hélène Scott et monsieur André Parent pour leur participation intéressée à la finalisation de ce rapport.

RESUME

Les problèmes soulevés par la présence dans le milieu de substances toxiques sont perçus comme système d'agression toxique. Aux fins de structurer progressivement l'image d'une agression toxique, il est nécessaire de développer un cadre sémantique approprié (groupe de définition) et de situer brièvement les mécanismes de genèse et d'évolution dans le milieu des agents de l'agression (substances toxiques). Une fois introduit le concept de l'agression toxique directe (à l'homme) et indirecte (à son patrimoine environnemental) et après avoir caractérisé les agents de l'agression, on traite brièvement de l'évaluation de l'intensité de l'agression toxique et de la philosophie éventuelle d'une intervention gouvernementale élaborée pour contrer l'agression toxique au Québec.

Mots clé

substances toxiques / altéragènes / agression toxique / évaluation / agresseurs / agent d'agression / indices / circonstances atténuantes / intervention / gouvernement / méthodologie

Référence

Sasseville, J.L. (1977). "L'agression toxique". INRS-Eau, *rapport scientifique* no 82, 46 p. (Pour les Services de protection de l'environnement du Québec).

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
REMERCIEMENTS	I
RESUME	II
TABLE DES MATIERES	III
LISTE DES FIGURES	IV
INTRODUCTION	1
1. LA DEFINITION D'UNE SUBSTANCE TOXIQUE	2
2. LA PRESENCE DE SUBSTANCES TOXIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT	5
3. LES EFFETS ASSOCIES A LA PRESENCE DES SUBSTANCES TOXIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT	12
4. L'EVALUATION DE L'AGRESSION TOXIQUE	25
5. L'INTERVENTION GOUVERNEMENTALE	39
BIBLIOGRAPHIE	44

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1. Comparaison schématique entre le cycle du mercure pré-anthropologique et l'actuel	8
2. Illustration schématique des apports anthropogéniques en substances toxiques	10
3. Schéma général simplifié de l'évaluation des substances toxiques dans l'environnement	11
4. Schéma général simplifié représentant l'évolution de substances toxiques dans le système terrestre	13
5. Schéma général simplifié représentant l'évolution de substances toxiques dans le système eaux douces	14
6. Schéma général simplifié illustrant l'évolution de substances toxiques dans un écosystème estuarien	15
7. Schéma général simplifié représentant l'évolution des substances toxiques dans le système océanique	16

AVANT-PROPOS

A la suite du rapport intitulé "Le mercure au Nord-Ouest québécois - aspects environnementaux", les Services de protection de l'environnement ont mis sur pied un Comité d'intervention regroupant le ministère des Affaires sociales, des Richesses naturelles, de l'Industrie et du Commerce et celui du Tourisme, de la Chasse et de la Pêche.

Le premier travail de ce Comité fut d'élaborer la problématique des substances toxiques au Québec et une stratégie d'intervention; pour ce faire, neuf (9) sujets furent traités dont celui-ci.

Les auteurs de ces textes proviennent du milieu gouvernemental, universitaire ou agissent à titre de consultant. Le Haut Comité sur les substances toxiques leur a confié ce travail de par leur compétence dans le secteur étudié et leur expérience antécédente relative au sujet traité.

L'ensemble de la problématique comporte les sujets suivants:

TOME I	L'agression toxique.	J.L. Sasseville INRS-Eau
TOME II	Éléments d'une approche rationnelle aux problèmes environnementaux.	Bernard Bobée & J.L. Sasseville INRS-Eau
TOME III	Méthodologie d'analyse des situations d'agresseur par les substances toxiques.	Hubert Demard INRS-Eau

- TOME IV Les substances toxiques présentes dans l'environnement. Aristide Bouchard & Roland St-Jean S.P.E.Q.
- TOME V L'inventaire sommaire des activités dans le domaine des substances toxiques dans l'environnement. Hélène Weber & Daniel Barbeau S.P.E.Q.
- TOME VI La problématique générale de la présence des contaminants toxiques dans l'environnement québécois. Michel Leclerc INRS-Eau Yves Descôteaux A.G.I.R.
- TOME VII Les moyens d'intervention face à la présence des substances toxiques dans l'environnement Yves Descôteaux A.G.I.R.
- TOME VIII Les substances toxiques dans le fleuve St-Laurent. André Caillé Comité d'étude sur le fleuve St-Laurent
- TOME IX Le St-Laurent maritime et les toxiques - éléments de problématique. F.-Robert Boudreault M.I.C.

INTRODUCTION

Depuis toujours, l'homme cohabite avec une technologie axée sur l'isolation et la synthèse d'espèces chimiques qu'il entrepose temporairement ou qu'il véhicule dans un réseau planétaire d'échanges établi pour satisfaire ses besoins vitaux, sociaux et culturels; ces espèces chimiques, au cours de leur évolution au sein de différents usages auxquelles elles sont dévolues, offrent prises aux divers processus de dissémination dans l'environnement. Certaines de ces espèces chimiques ou de leurs dérivés ne perturbent que très peu les fonctions biotiques dont la régularité, sous conditions environnementales données (climat, physiographie, densité des substratum, etc...), préside à la cohérence nécessaire au maintien des structures de l'écosystème et ne permet en général que des changements lents et ordonnés. D'autres, au contraire, sont des altéragènes¹ puissants qui interviennent à un niveau ou à des niveaux précis dans la chaîne des événements biochimiques qui conduisent aux opérations biotiques; ces espèces chimiques, en modifiant le cours des événements métaboliques au sein du vivant, compromettent l'évolution naturelle de la biosphère, remettant ainsi en question des valeurs génétiques pour lesquelles, du moins il le semble, l'homme est préparé à lutter.

Parmi ces altéragènes chimiques, certains, considérés comme toxiques parce qu'ils entraînent une modification profonde d'une ou plusieurs fonctions métaboliques, font l'objet de préoccupations grandissantes dans les pays industrialisés; leur présence quasi-universelle dans l'environnement nous amène à nous interroger sur *la matière* de ces substances et sur *leurs effets* sur la vie aux concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu. C'est là précisément le thème central des propos qui seront tenus dans les pages qui suivent.

¹ Ternisien (1971) définit l'*altéragène* comme toute substance provoquant une altération de l'environnement.

1 LA DÉFINITION D'UNE SUBSTANCE TOXIQUE

Une *substance toxique* peut être définie de façon générale, comme un *agent pouvant produire des effets délétères*; plus précisément, selon Truhaut (1975), une *substance toxique* ou *poison* est une *substance pouvant causer une altération ou une perturbation dans les fonctions d'un organisme conduisant à des effets nocifs, le plus sérieux étant de toute évidence la mort de l'organisme.*

Ces définitions, certes insuffisantes, ne permettent pas de différencier les substances toxiques qui agissent sur le vivant à des concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu et dont le contact avec le vivant est inévitable, de substances essentielles ou produites par le vivant qui ont des effets délétères mais dans des conditions accidentelles qui se rencontrent rarement dans l'environnement (ou au contraire, dans des conditions environnementales courantes); ainsi, par exemple, le CO₂ est un asphyxiant puissant qui ne peut être considéré, au sens environnemental, comme un gaz toxique.

Il semble plus approprié, selon le groupe de travail sur les "principes des protocoles en vue d'évaluer les substances chimiques dans l'environnement" (Anonyme, 1975), de définir une *substance toxique* comme un *agent qui a la potentialité de produire des effets délétères comme résultat d'une exposition se produisant dans des conditions normales d'utilisation ou dans des conditions prédictibles d'utilisation inadéquate.* Cette définition, plus circonspecte, fait intervenir des notions de risques ou de dangers potentiels. L'élargissement pragmatique de la définition d'une substance toxique n'est toutefois pas sans soulever de nombreux problèmes de perception liés à l'évaluation objective de risque ou de danger potentiels; le caractère du toxique apparaissant dans la définition, mais exigeant un système complexe pour le définir (l'évaluation objective de la potentialité sous conditions spécifiques d'usages adéquat ou inadéquat), il semble en première analyse qu'il sera difficile de faire la

discrimination nécessaire entre un risque ou danger perçu et le risque objectivement encouru. Une substance toxique, tel l'arsenic, possède des caractères traduisant une potentialité élevée d'altérer des fonctions physiologiques; toutefois, il s'agit là d'une substance très dangereuse qui, en considérant objectivement les mécanismes biochimiques de son évolution dans le milieu en général et dans le vivant en particulier, présente un caractère qui est davantage du type "risque faible d'agression au vivant".

Cette notion de risque est aussi véhiculée dans les définitions d'altéragènes et de nuisances présentées par Ternisien (1971) dans son précis général des nuisances:

La nuisance caractérise tout altéragène qui comporte un risque notable pour la santé¹ et le bien-être² de l'homme, ou qui peut atteindre indirectement celui-ci, par les répercussions sur son patrimoine naturel, culturel et économique.

Malgré les quelques imprécisions quant à l'organisation hiérarchique des définitions proposées par Ternisien, on peut déduire de ses efforts qu'il a voulu affiner la définition d'altéragène en suggérant la nuance suivante:

l'altéragène qui peut porter atteinte au bien-être sans risque notable prévisible pour la santé ou le patrimoine est une gêne.

¹ Selon le Conseil international de la langue française, la *santé* est l'état d'un être vivant consistant en l'absence de maladie ou d'infirmité et en la pleine possession de ses moyens physiques et mentaux.

² Selon la source citée à la note 1, le *bien-être* correspond à un état physique et psychique qui donne à l'homme le sentiment d'être satisfait dans son milieu.

Ces définitions, en retenant un terme non défini ("risque notable"), maintiennent un caractère de subjectivité qui accroît la confusion en portant les difficultés de circonscrire la nuisance sur celles de définir ce que sont les risques notables. Cette imprécision du cadre de référence se manifeste bien dans la définition suivante:

une substance ou un facteur est nuisible lorsqu'il entraîne une gêne ou une nuisance pour laquelle le caractère spécifique est la nocivité, eu égard à un certain seuil.

On constate que cette dernière définition signifie tout simplement que le *risque est notable* quand une substance nocive est présente au-dessus d'un "certain seuil" défini par le niveau ou l'intensité du facteur ou la concentration de la substance entraîne une gêne ou une nuisance; on vient, cette fois, de définir l'élément non défini de la définition par lui-même, en créant ainsi un illogisme qui rend caduque le reste de la démarche si on ne parvient pas à définir "risque notable".

La définition retenue: les substances altérageènes toxiques

L'intérêt majeur que présente la définition recherchée ici est de permettre de regrouper sous une seule espèce l'ensemble des éléments ou substances touchés dans la problématique; ainsi, tentons-nous de définir l'"espèce" de substances qui, par l'effet combiné de leur toxicité et de leur présence dans le milieu, peuvent de quelques façons altérer l'environnement. En modifiant légèrement les notions décrites précédemment, on constitue aisément le groupe de définitions suivant:

1. *une substance toxique est une substance qui, lorsque mise en contact avec un organisme vivant, provoque de sa part une réaction spécifique ou non spécifique (stress)¹ et qui compromet la réalisation de ses fonctions physiologiques, au point d'avoir des effets délétères qui peuvent de façon ultime résulter en sa mort.*

¹

Le stress est défini comme étant la *réponse non spécifique* que donne un organisme à toute demande qui lui est faite.

2. *un altéragène environnemental est soit une substance, soit un facteur, soit une association organisée de substances et de facteurs capables de provoquer une altération de la santé¹, du bien-être² de l'homme et de son patrimoine environnemental (l'air, l'eau, le sol, les organismes qui y vivent et les relations qu'entretiennent toutes ces composantes entre elles);*
3. *les substances altéragènes toxiques sont des substances toxiques qui, par l'effet combiné de leur présence en abondance anormale ou singulière dans le milieu et de leur toxicité pour l'homme et les autres constituants de la biosphère, se comportent comme des altéragènes environnementaux.*

Ce groupe de définitions présente le double avantage de ne pas faire intervenir les notions fort ambiguës de "risques objectifs", "risques notables", "risques potentiels" ou "risques négligeables", et d'autre part, de regrouper les substances en fonction du type d'environnement considéré. En effet, une substance toxique présentant peu de risque pour la santé et le bien-être de l'homme ainsi que pour son patrimoine environnemental sera tout de même considérée comme une substance altéragène toxique si elle présente le caractère unique de capacité d'altération définie en termes simples de quantité utilisée ou de mise en biodisponibilité.

2. LA PRESENCE DE SUBSTANCES TOXIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les substances toxiques présentes dans l'environnement peuvent être géogéniques (c'est-à-dire introduites dans le milieu au cours de processus géochimique ou géothermique), biogéniques (c'est-à-dire

¹ Tel que défini à la note 1 de la page 3.

² Tel que défini à la note 2 de la page 3.

produites naturellement par l'action du métabolisme du vivant sur des substances présentes dans le milieu) ou anthropogéniques (produites directement ou indirectement au sein des activités de l'homme); certaines substances toxiques pourront être à la fois géo-biogéniques et anthropogéniques (tel que le $\text{CH}_3\text{-Hg}^+$ produit en présence de Hg^{++} et de méthyle cobalamine synthétisé par les systèmes biologiques ou produit dans certains processus industriels).

Les substances toxiques géo-biogéniques sont certes nombreuses en espèce et diversifiées dans leur forme; leur production est assujettie aux conditions environnementales qui prévalent au lieu de synthèse ou à l'histoire des substances mères qui, par les différentes transformations qu'elles subissent, donnent naissance à des dérivés qui interféreront de quelque façon avec le vivant. Ces substances géo-biogéniques offrent un intérêt mitigé dans la vaste problématique de la présence de substances toxiques dans l'environnement. En effet, d'une part, ces substances produites naturellement sont davantage perçues comme des stressseurs¹ ou des agents contraignants² aux organismes vivants pouvant altérer leur développement harmonieux tout comme le sont les conditions climatiques, la disponibilité en éléments nutritifs ou les conditions d'éclairage; les organismes vivants peuvent aussi produire des substances chimiques leur permettant de vivre et de proliférer aux dépens d'autres espèces ou encore de s'adapter aux conditions rigoureuses du géochimisme local. D'autre part, les mécanismes biochimiques ou géochimiques les produisant peuvent contribuer à accroître les pressions écologiques exercées par les activités de l'homme sans cesse croissantes en intensité et en diversité; tel serait, par exemple, le rôle important joué par la vitamine B₁₂ dans la biosynthèse de dérivés métalliques alkylés (mercure, étain, palladium, or, thallium, platine, sélénium, tellurium, soufre et arsenic) qui sont en général plus toxiques pour le vivant que les éléments mères (Wood, Segal *et al.*, 1975).

¹ Un stressseur est un agent qui, mis en présence d'un organisme vivant, entraîne une réaction non spécifique de la part de cet organisme.

² L'agent contraignant entraîne une réaction spécifique de la part de l'organisme vivant auquel il s'applique.

De leur côté, les activités humaines ont contribué largement à accélérer les échanges dans plusieurs grands cycles naturels comme en témoigne par exemple la figure 1; on estime que le flux atmosphérique du mercure est passé de 250 à 400 x 10⁸ g/an et que l'écoulement fluvial qui était de l'ordre de 13 x 10⁸ g/an avant l'ère industrielle serait maintenant de 50 x 10⁸ g/an. Un tel accroissement des flux n'est certes pas sans répercussion sur le comportement physiologique et écologique des organismes et pourrait éventuellement compromettre l'existence sous leur forme actuelle de certains écosystèmes fragiles.

Les mécanismes de genèse des substances toxiques

Les substances toxiques géogéniques se retrouvent généralement dans l'environnement sous forme de gaz, de substances métalliques pures, d'oxydes métalliques, de complexes sulfurés peu solubles, d'éléments (Cd, Cr, Cu, F, I, Pb, Li, Mo, Se, Co, Zn, etc...) co-précipités ou incorporés à la matière minérale de matériaux naturels (roche ignée, argiles, etc...); ces substances sont progressivement mises en contact avec le vivant via un processus de dissémination fort complexe faisant intervenir des modifications géologiques (pression, chaleur, déplacement), des phénomènes thermodynamiques (migration, volatilisation, évaporation, sublimation, co-évaporation, solubilisation par l'eau, mobilisation par la matière organique, etc...), des phénomènes hydrodynamiques (érosion, charriage) et atmosphériques (vent, turbulence, humidité, rayonnement solaire, température) et, évidemment, la gravité qui maintient une certaine cohésion dans le processus de dissémination.

Les substances toxiques biogéniques sont produites par l'intervention d'une ou de plusieurs voies métaboliques, soit au niveau des mécanismes de détoxification ou d'excrétion du matériel organique non utilisable par le vivant, soit au niveau des mécanismes de défense ou de compétition des organismes biologiques. Ces substances, essentiellement organiques, sont en général facilement dégradables par oxydation douce ou catalytique; cependant, elles peuvent circonstanciellement être produites en abondance ou présenter des caractères de haute stabilité.

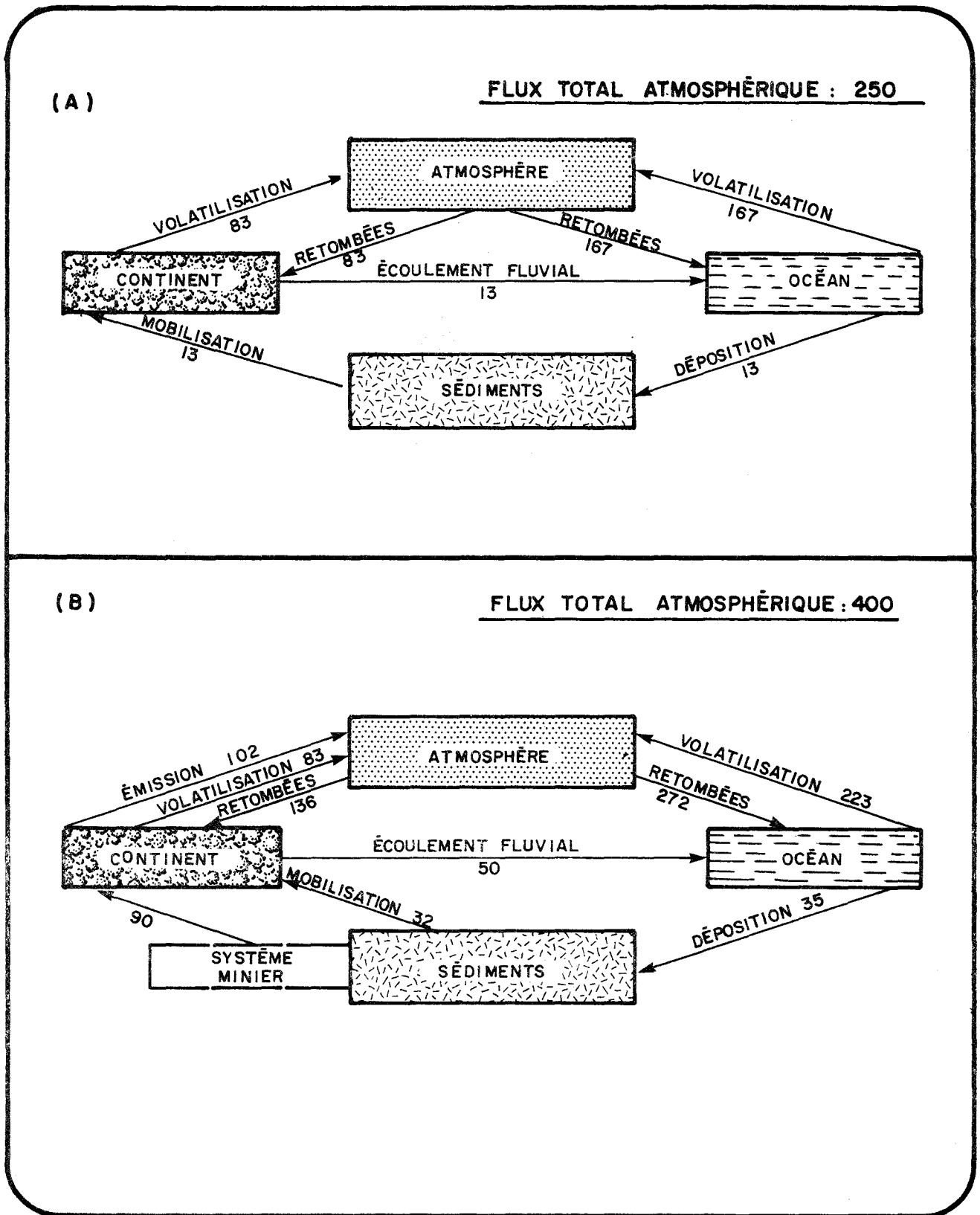


Figure 1 . Comparaison schématique entre le cycle du mercure pré-anthropologique (A) et l'actuel (B). Les unités de flux sont exprimées en 10^8 g / an. (Adapté de Wollast, Bilien et al., 1975).

La présence dans le milieu de substances géo-biogéniques résulte de l'effet combiné de processus géochimiques et biochimiques; il peut s'agir, en effet, de substances organiques produites dans le vivant sous l'impulsion de situations géochimiques particulières, de substances organo-métalliques synthétisées au sein du complexe métabolique et faisant intervenir des substances géogéniques, ou, inversement, des substances produites à partir de substances biogéniques sous conditions géo-thermodynamiques particulières. Certaines de ces substances sont présentes en abondance (gaz, huiles brutes), tandis qu'une fraction, infime en poids mais d'importance relative considérable (c'est-à-dire les organométalliques), peut avoir des répercussions énormes sur le vivant.

Les substances toxiques anthropogéniques sont les plus universellement présentes dans le milieu. Il s'agit de se représenter l'étendue, l'intensité et la diversité des activités humaines, dont chacune contribue de quelque façon à enrichir le "pool" des substances toxiques dans le milieu, pour constater leur potentialité de compromettre l'évolution harmonieuse des composantes de la biosphère telle qu'on la connaît aujourd'hui. La figure 2 illustre bien l'inévitable des apports anthropogéniques de toxiques dans le milieu; la plupart des activités produisent les substances toxiques, soit directement, comme, par exemple, la synthèse et l'usage de pesticides, soit indirectement, comme c'est le cas pour la combustion de l'huile, du charbon ou du gaz naturel, pour la synthèse parasite de substances toxiques, pour la synthèse de substances dont les dérivés sont toxiques ou encore pour la synthèse involontaire de substances toxiques dans la production industrielle.

L'évolution de substances toxiques dans l'environnement

Il est possible de regrouper, dans un modèle conceptuel, les cheminements éventuels des substances toxiques dans l'environnement. La figure 3 est justement un effort de schématisation générale de l'évolution des substances dans l'environnement; ce modèle, qui comporte cinq sous-

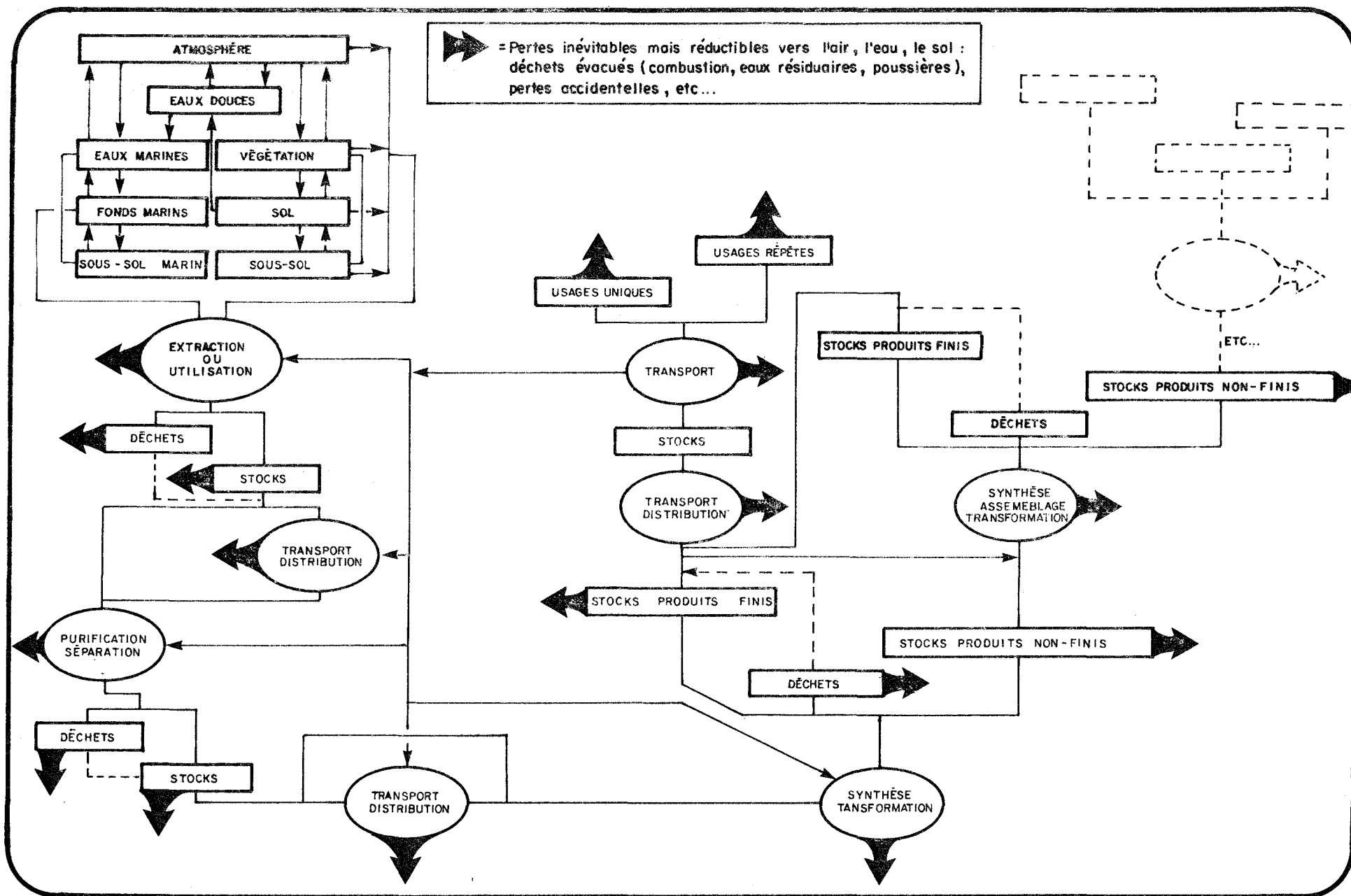


Figure 2. Illustration schématique des apports anthropogéniques en substances toxiques.

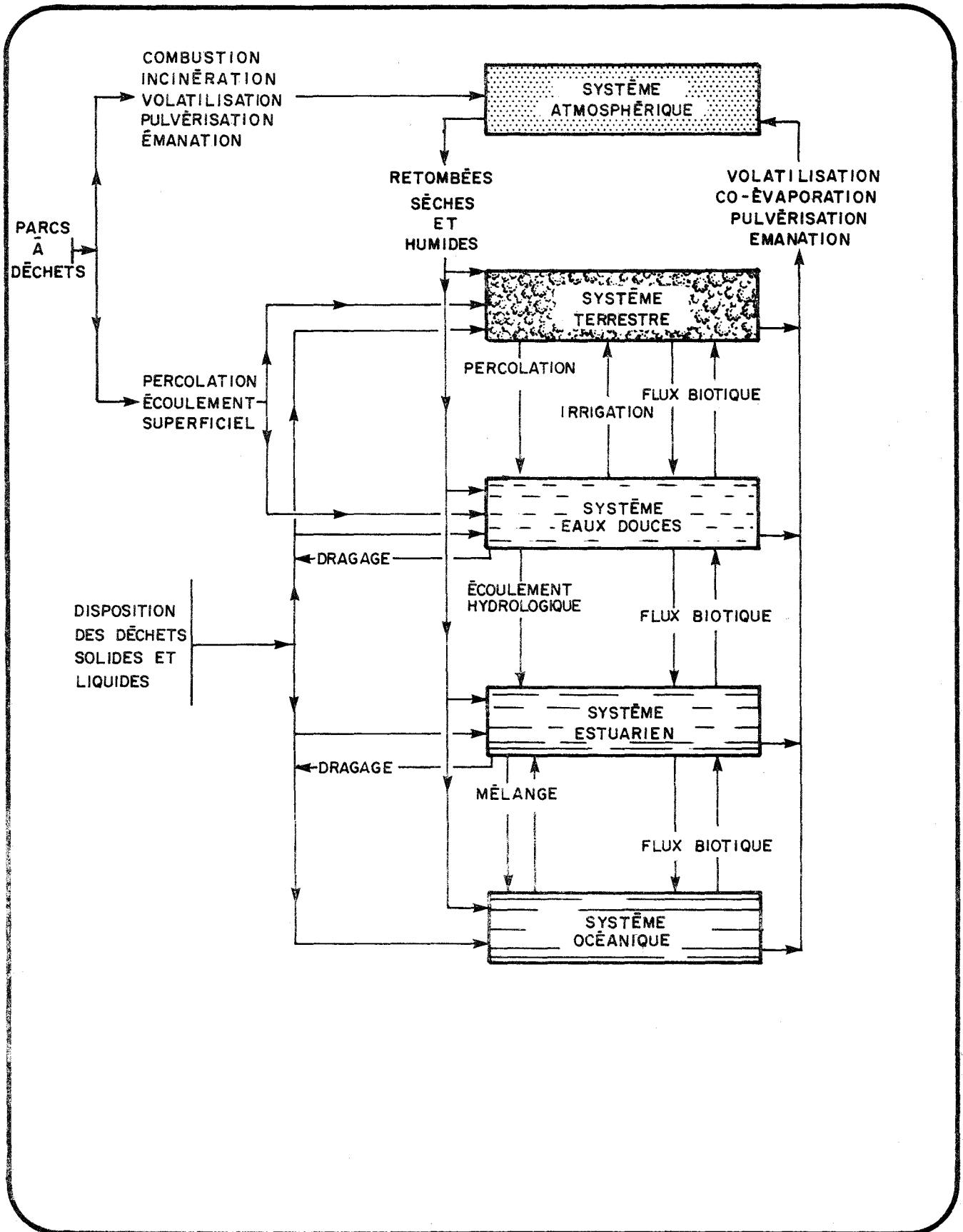


Figure 3. Schéma général simplifié de l'évolution des substances toxiques dans l'environnement (Adapté de Nisbet et Sarofim, 1972 ; Panel on Hazardous Trace Substance, 1972).

systemes, a été élaboré par Nisbet et Sarofim (1972) dans le cadre d'une étude approfondie sur les biphénils polychlorés (Panel on Hazardous Trace Substances, 1972). Il présente l'avantage indiscutable d'être généralisable à l'ensemble des substances toxiques et d'offrir un outil permettant de dégager une perception d'ensemble de l'agressivité environnementale des différents types de substances toxiques. Chacun des sous-systèmes composant le modèle (système terrestre, des eaux douces, estuarien, océanique) est présenté en plus de détails aux figures 4, 5, 6 et 7. On y voit décrites les voies de transfert entre les constituants de chacun des systèmes; l'homme y est considéré comme faisant partie du système terrestre.

Il est évident que les cheminements des différents toxiques seront spécifiques; ils dépendront en effet des propriétés physiques, chimiques et biologiques de chacune des substances. Il demeure néanmoins plausible, pour chaque type de substances, d'évaluer leur comportement à l'aide de ces représentations schématiques; de tels efforts faciliteront la synthèse de l'abondante littérature scientifique sur le sujet et permettront d'établir de nombreux ponts entre les différentes études.

3. LES EFFETS ASSOCIES A LA PRESENCE DES SUBSTANCES TOXIQUES DANS L'ENVIRONNEMENT

Les substances toxiques sont l'objet, depuis les vingt dernières années, d'une documentation scientifique abondante; on y traite surtout de l'effet de ces substances et de leurs dérivés sur le métabolisme des organismes (activités enzymatiques, protéosynthèse, transport membranaire actif et passif, liposynthèse, etc...) ou sur leurs fonctions physiologiques (mobilité, respiration, nutrition, sens, gamétogénèse, etc...). La majorité des travaux, qui ont permis d'élucider de nombreux et diversifiés effets des toxiques sur le vivant, ont été réalisés en milieux contrôlés, in vivo et in vitro, sur l'homme, les animaux

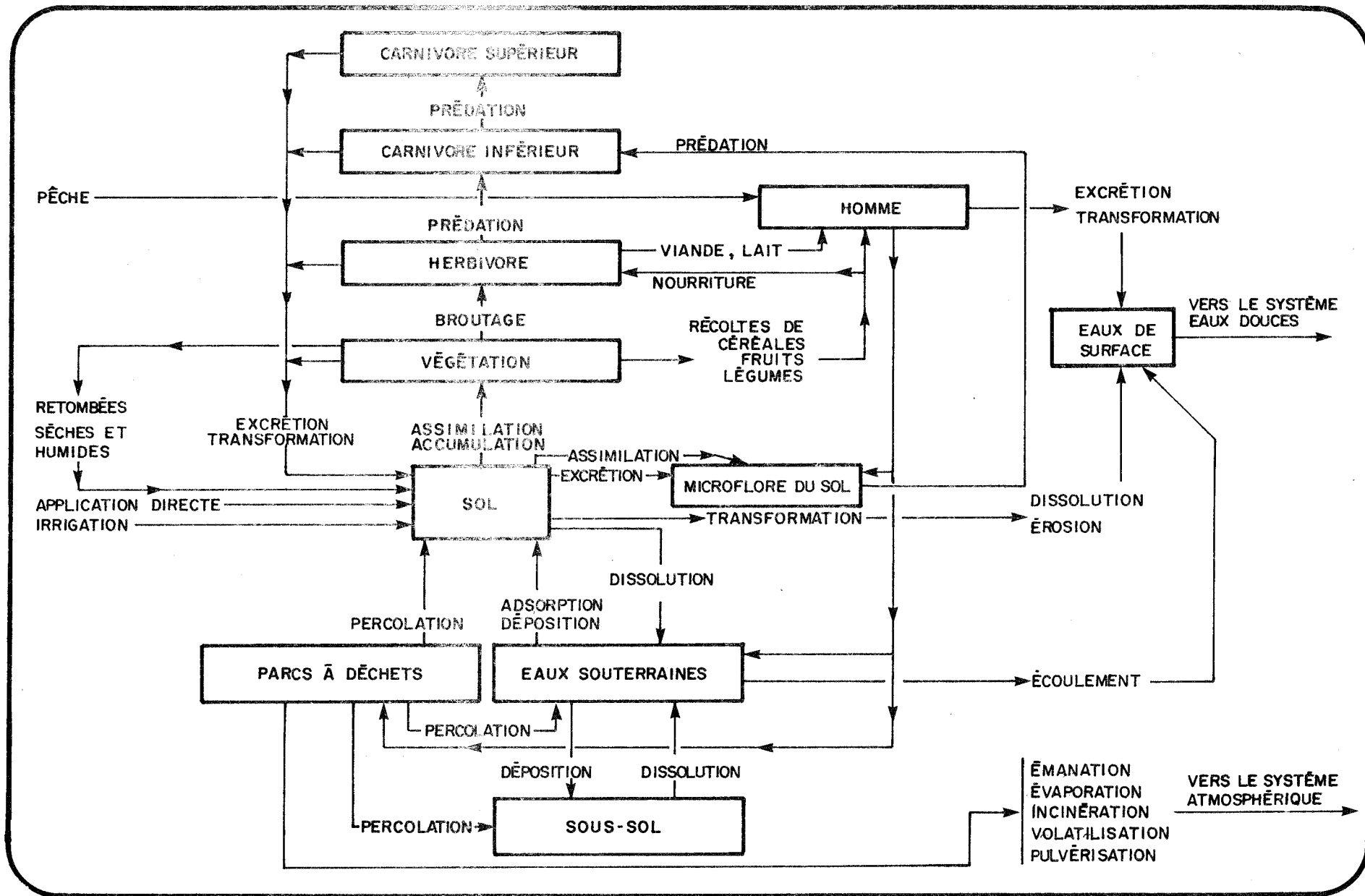


Figure 4. Schéma général simplifié représentant l'évolution de substances toxiques dans le système terrestre. (Adapté de Panel on Hazardous Trace Substances, 1972).

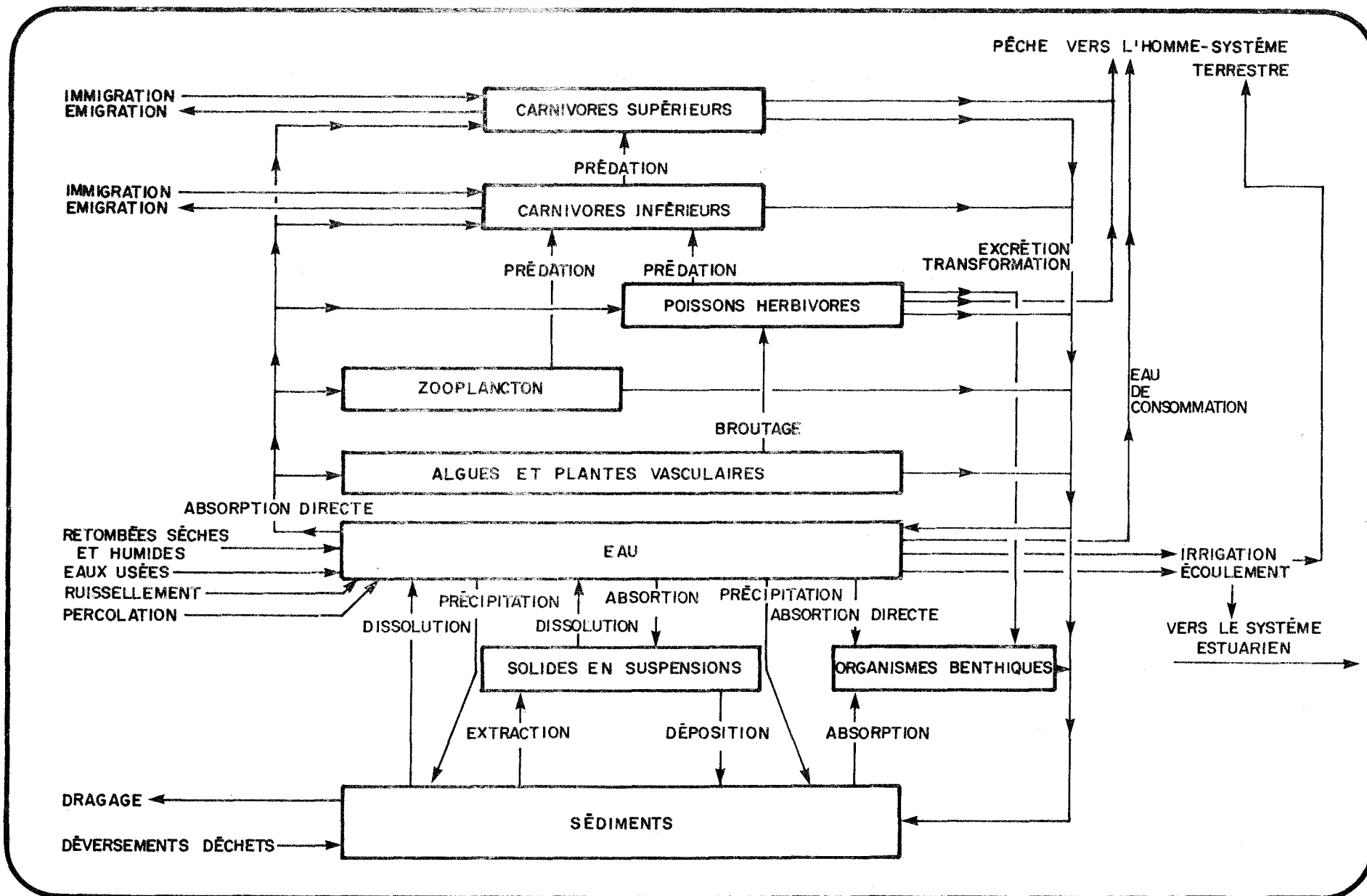


Figure 5. Schéma général simplifié représentant l'évolution de substances toxiques dans le système eaux douces (Adapté de Panel on Hazardous trace substances, 1972).

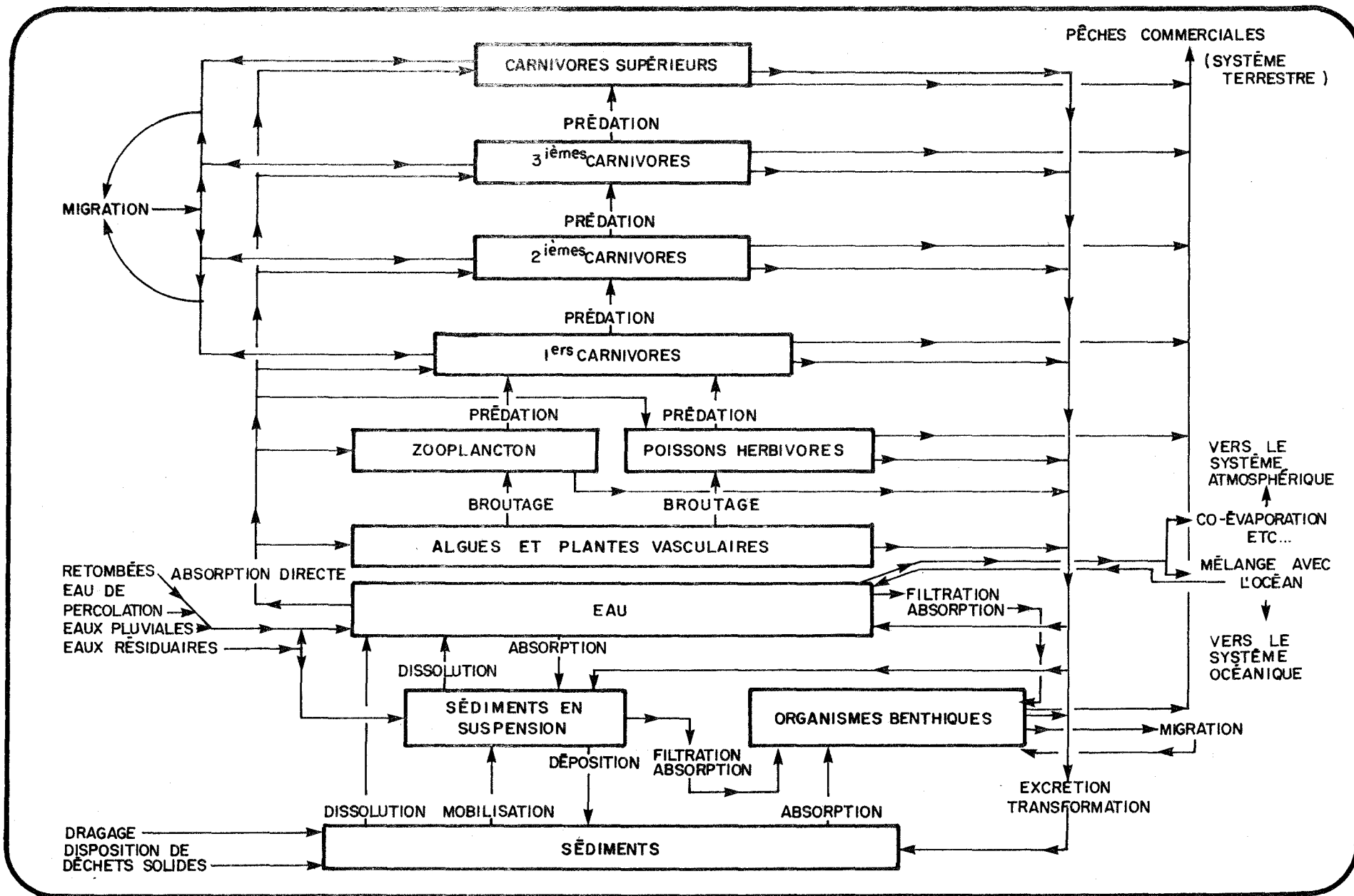


Figure 6. Schéma général simplifié illustrant l'évolution de substances toxiques dans un écosystème estuarien (Adapté de Panel on Hazardous trace substances, 1972).

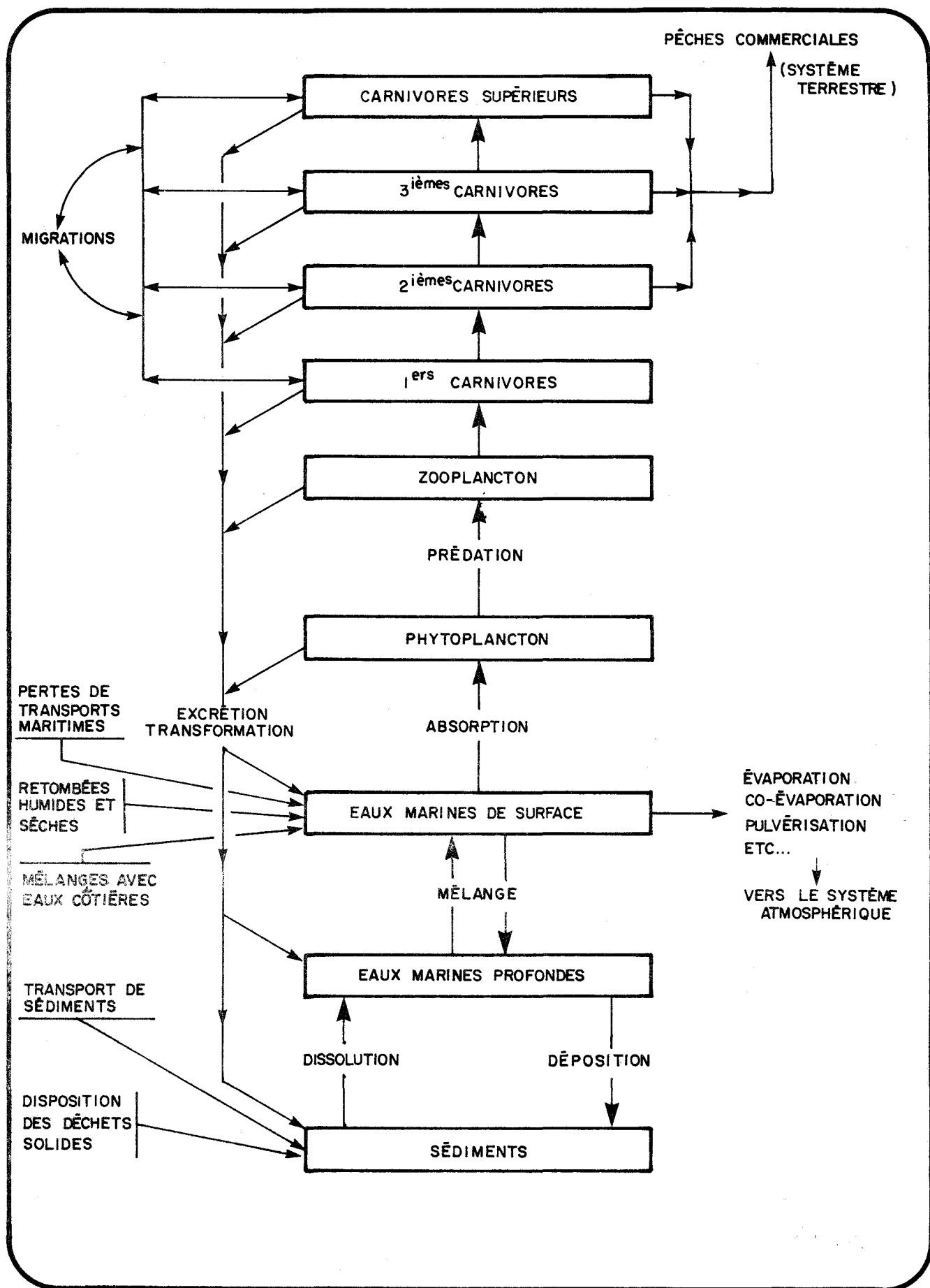


Figure 7. Schéma général simplifié représentant l'évolution des substances toxiques dans le système océanique (Adapté de Panel on Hazardous trace substances, 1972).

et les végétaux; en général, suite à l'isolation d'une catégorie d'effets associés à un ou à des groupes de substances toxiques et avec beaucoup de précautions, on a eu tendance à les transposer à l'ensemble du vivant présentant des caractères biochimiques semblables à ceux des organismes qui ont permis l'isolation et la caractérisation de l'effet.

Cependant, peu d'efforts ont été tentés pour bien percevoir l'effet des substances toxiques sur le vivant, dans des conditions environnementales non simulées; il est donc difficile, dans un tel contexte, de comprendre les conséquences réelles ou d'estimer objectivement les risques encourus par la contamination progressive du milieu de vie. Pour pallier à ces difficultés de perception qui entraînent souvent des débats contradictoires stériles sur la nocivité réelle des substances toxiques libérées dans l'environnement, il est *indispensable d'identifier l'ensemble des événements qui constituent l'agression toxique (ou l'altérabilité d'une substance toxique), de circonscrire l'espace physique, chimique et biologique, théâtre de l'agression toxique, et finalement d'hierarchiser et d'ordonner dans le temps les différents phénomènes impliqués dans le processus de l'agression toxique.*

L'agression toxique

L'agression toxique est le processus par lequel une substance chimique toxique (substance altérabilité toxique) détériore une ou plusieurs fonctions métaboliques exerçant ainsi des effets délétères. On distinguera dans le présent propos *l'agression toxique directe*, c'est-à-dire l'agression à la santé de l'homme ou à son bien-être, de *l'agression toxique indirecte*, c'est-à-dire de l'agression portant atteinte à la santé des écosystèmes constituant son milieu de vie.

En milieu naturel, le vivant est assujéti à un ensemble de contraintes de nature physique (température, rayonnement électro-magnétique, gravité, turbulence gazeuse ou liquide, métamorphisme solide,

etc...) et chimique (gaz dissous, oxydo-réduction, acidité, alcalinité, éléments majeurs dissous ou précipités, éléments mineurs et traces présents sous une infinité de formes, matière organique de poids moléculaire variable, etc...); au sein du vivant, chaque organisme entretient des interactions inter et intra-spécifiques qui évoluent sans cesse dans le temps au gré des contraintes de nature physique et chimique. Inversement, les organismes vivant en contact intime perpétuel avec leur environnement par l'échange continu d'énergie de matière et d'information (par exemple, un changement de situation associé à l'accroissement de la biomasse des macrophytes dans un cours d'eau entraînera des modifications profondes du régime hydrodynamique), agiront sur sa structure physique (c'est-à-dire la forme dans l'espace) et la structure chimique (c'est-à-dire la composition chimique). La structure chimique de l'environnement du biota, sous l'action combinée de contraintes physiques et biotiques et selon un ensemble de lois régulant l'écoulement de l'énergie (lois thermodynamiques), évolue sans cesse, modifiant ainsi l'intensité et même la nature des liens entretenus avec le vivant. La conjoncture environnementale dans laquelle se manifestera une agression toxique est, sous cet angle, fort complexe. En conséquence, le processus de l'agression, modulé circonstanciellement par un ensemble de facteurs de nature physique, chimique et biologique, ne peut être adéquatement décrit en termes simples de concentrations normalisées.

Description de l'agression toxique indirecte

La séquence des événements constituant l'agression toxique indirecte peut être schématisée ainsi:

1. Une substance toxique est mise en contact avec un organisme vivant.
2. Par l'intervention au sein du métabolisme de l'organisme, elle entraîne des modifications dans ses fonctions physiologiques.

3. L'organisme, en modifiant la nature ou l'intensité des relations qu'il entretient avec son milieu support et d'autres organismes vivants, voit son activité et son développement normal compromis; cette situation peut entraîner des conséquences graves si elle se répercute sur les relations existant au sein de l'écosystème dont fait partie l'organisme affecté.

Si tels sont les événements constituant l'agression toxique, il est certes possible d'en établir un scénario détaillé pouvant éventuellement permettre d'en caractériser la matière et d'en établir l'intensité relative. A ce stade de la réflexion, le développement d'un tel scénario semble fort prématuré; cependant, en guise de préliminaires préparatoires à une telle démarche, on traitera ici de la charpente de l'agression toxique associée à la présence d'une substance pré-identifiée¹. Pour ce faire, on procédera par questions clés: le rôle de certaines d'entre elles sera situé au plan de la problématique de l'agression.

LES ELEMENTS CONSTITUANT L'AGRESSION TOXIQUE INDIRECTE

1. *La substance toxique considérée est-elle présente naturellement dans le milieu?*

Plusieurs substances toxiques, comme les métaux traces ou certaines toxines synthétisées par les organismes vivants, peuvent être présentes naturellement dans l'environnement à des concentrations telles qu'elles peuvent interférer gravement avec les circuits métaboliques normaux. Ces contraintes, souvent assimilées à des

¹ Dans ce contexte, on traite d'une substance connue, réputée toxique et présente dans l'environnement. Il est possible de traiter de l'agression d'un groupe de substances connues, ou encore, à partir d'une situation environnementale donnée (par exemple, la diminution de la production biologique d'un lac), d'établir le rôle joué par l'agression toxique dans cette situation environnementale. Il est évidemment plus simple d'élaborer des scénarios à partir de toxiques dont la problématique est bien documentée, que de rechercher le rôle éventuel d'une agression quelconque dans une situation environnementale donnée.

processus écologiques normaux donnant forme aux structures biogéographiques, présentes depuis toujours dans le milieu considéré, risquent d'être exacerbées par l'intervention de l'homme dans les processus biogéologiques. Toutefois, compte tenu des mécanismes naturels ayant présidés à la structuration d'un certain équilibre écologique, l'évaluation des répercussions de l'intervention de l'homme sur cet équilibre pourra difficilement se réaliser.

Si la substance toxique considérée n'est pas présente de façon naturelle dans le milieu, ses répercussions sur la biosphère pourront être considérables. Ainsi, une substance mutagénique dispersée en abondance dans l'environnement pourra présenter de sérieux dangers pour la qualité du patrimoine génétique de l'homme; en effet, un taux de mutation légèrement plus élevé au niveau de la gamétogenèse et provoqué par ce type de substance¹ risque, dans une société où la science médicale est en mesure de préserver une fraction importante des défauts génétiques dans une population, d'affaiblir le potentiel génétique des générations à venir² (Woodwell, 1970).

2. *Comment la substance toxique est-elle produite?*

On entend, ici, la genèse naturelle ou artificielle de la substance toxique considérée, incluant les lieux, le processus de formation, les éléments associés indirectement à la formation, la quantité produite et le taux de production. On s'intéresse donc aux impuretés pouvant l'accompagner, aux produits mères, à l'usage économique et social de la substance, à sa disposition, etc...

¹ Plusieurs types de substances naturelles ou artificielles ont manifesté des aptitudes mutagéniques: on y retrouve certains alcaloïdes (caféine, nicotine, colchicine), des antibiotiques (pénicilline, streptonigrine), des pesticides (2, 4, 5-T, carbaryle, captan), des organo-métalliques (Hg, Pb, As, Li, Cd), des solvants (benzène, diméthylsulfoxyde), etc... (Anonyme, 1975).

² Ce problème est moins aigu pour les animaux en général; la sélection naturelle ou contrôlée jouant un rôle prépondérant dans l'épuration génétique, les écosystèmes n'ont pas tendance à accumuler les déficiences génétiques.

3. *Quel est le comportement global de la substance?*

On réfère au cycle planétaire, régional ou local de la substance considérée, dans l'atmosphère, dans le sol et dans les eaux douces et marines.

4. *Quelles sont les caractères toxiques présentés par la substance?*

La substance toxique, dans ses manifestations métaboliques, pourra *interagir avec des enzymes* jouant un rôle important dans la régulation de l'activité physiologique des organismes. Elle peut *inhiber un enzyme* ou *le détruire* tels par exemple, les organo-phosphates qui, par leur action sur l'acétylcholinestérase régulateur de la contraction musculaire, peut bloquer son action en interférant avec un co-facteur ou un activateur (Lauwerys et Lavenne, 1972; Waldbott, 1973). La substance toxique peut interagir avec le système enzymatique en *activant la synthèse* ou *l'activité de certains enzymes*: tel serait, par exemple, l'effet du pesticide hexachlorobenzène qui stimule la synthèse de l'enzyme δ -ALA-synthétase, accroissant ainsi la concentration de l'acide δ -aminolévulinique puis, par la suite, d'autres précurseurs de l'hème, entraînant une augmentation de la quantité de porphyrines synthétisées dans l'organisme affecté. La substance toxique peut *agir sur le vivant en se combinant avec des constituants intra ou extra-cellulaires*: tel serait le cas, par exemple, du cyanure (CN^-) qui en se combinant avec le fer ferrique (Fe^{+++}) de la cytochrome oxydase, bloquerait la respiration cellulaire.

Les substances toxiques peuvent aussi *provoquer des manifestations métaboliques secondaires*: à titre d'exemple, mentionnons l'action chélatrice de certaines substances organiques qui diminue la biodisponibilité de métaux traces essentiels au maintien du métabolisme, ou les transformations chimiques subies par la substance toxique pouvant engendrer ainsi une substance encore plus toxique.

Parmi les caractéristiques chimiques propres aux substances toxiques, on retrouve les suivantes: la tensio-activité, la complexation, la chélation, la lipophilie, la protéophilie, le pouvoir oxydant et réducteur, le pouvoir catalytique, la stabilité, la bio-activité...

5. *Quels sont les dérivés toxiques éventuels de la substance considérée?*

En considérant une substance toxique particulière, on doit tenir compte de la famille entière formée par l'ensemble de ses dérivés toxiques éventuels. Ceci est particulièrement important si les dérivés sont plus toxiques que les substances mères. Ces trans-

formations peuvent se produire à l'extérieur du vivant sous l'influence des facteurs physico-chimiques qui y règnent ou à l'intérieur du vivant (xénométabolisme) où les substances subissent une première transformation de type réduction, oxydation ou hydrolyse au cours de laquelle des groupements OH, COOH, NH₂ et SH peuvent être introduits dans la molécule puis une deuxième transformation de nature synthétique, résultant en des produits polaires solubles dans l'eau (produits conjugués) (Williams, Hirom *et al.*, 1975).

Il est important de souligner que des substances peu ou pas toxiques pourront donner naissance à des substances présentant un caractère de toxicité élevée.

6. *Quels sont les caractères toxiques présentés par les dérivés?*
7. *Les dérivés toxiques de substances artificielles sont-ils présents naturellement dans le milieu?*
8. *Quels sont les premiers organismes vivants à être mis en contact avec la substance toxique ou ses dérivés?*

Après injection d'une substance toxique dans l'environnement (air, sol, eau), elle fera contact rapidement avec des organismes vivants; ce sont généralement ceux qui sont les plus près du point d'injection qui subiront l'assaut de la dite substance (sauf lorsque la substance est émise en altitude dans l'atmosphère). Cependant, le "contact toxique" ne s'établit pas de la même manière pour toutes les espèces animales et, au sein d'une même espèce, pour tous les individus. En effet, la toxicité d'une substance pour un organisme dépend de sa nature, de son temps de contact, des voies de contact en cause, de la quantité de substance qui vient en contact avec l'organisme, de l'état physiologique et pathologique de l'organisme, de l'évolution circadienne de son équilibre biochimique, de la présence ou de l'absence dans l'organisme d'autres substances pouvant interagir directement soit avec la substance considérée, soit avec les sites d'action de cette dernière, de l'âge de l'organisme et enfin de la présence ou de la carence de substances toxiques ou essentielles à la réalisation de l'ensemble des fonctions métaboliques de l'organisme, soit à l'intérieur de celui-ci, soit dans son milieu support. L'ensemble de ces conditions sont toujours présentes quand une substance toxique est mise en contact avec un organisme.

De plus, les substances toxiques évoluant structurellement au sein de l'espace chimique et biotique, il est possible et même probable que plusieurs espèces animales ou végétales seront affectées tour à tour au fil des transformations chimiques subies par la substance.

Dans ce contexte, il est opportun de faire intervenir des concepts de distance physique ou géographique et de distance métabolique situant un organisme par rapport au temps mis par la substance pour qu'elle puisse affecter son métabolisme.

9. *Y a-t-il des produits naturels ou artificiels présents dans l'environnement pouvant affecter la nocivité d'une substance toxique?*

On fait référence à des substances qui, par leur propriété chimique ou biotique, peuvent contribuer à accroître (synergie) ou à diminuer (action antagoniste) la toxicité d'une substance toxique. Ainsi en sera-t-il du NaCl, par exemple, qui accroît l'effet d'irritation pulmonaire causé par le SO₂ et de l'EDTA qui neutralise l'action toxique du plomb en le fixant dans un complexe non toxique (Lauwerys et Lavenne, 1972). Des effets synergétiques ont été observés par l'action simultanée de deux insecticides (malathion et EPN), ou par la combinaison de pesticides avec des agents tensio-actifs (Truhaut, 1975).

10. *Quels sont les effets de la substance toxique sur le métabolisme des organismes affectés?*

Les effets métaboliques réfèrent aux modifications de nature biochimique à l'intérieur des organismes vivants: modification de l'activité enzymatique, de l'activité catalytique, de la capacité hydrolytique, de la structure moléculaires des lipides et des protéines (secondaire, tertiaire, quaternaire), de l'allotérie, de la polarité de substances, des liens ioniques et électrostatiques, de la valence des substances, des liaisons de London van der Waals, du degré d'oxydation, de la densité électronique, etc...

11. *Les modifications métaboliques sont-elles réversibles ou compensées par l'appareillage biochimique?*

Les substances toxiques provoquant des modifications irréversibles ou non compensées par d'autres réactions biochimiques peuvent entraîner des conséquences graves pour les fonctions physiologiques de l'organisme affecté.

12. *Les modifications métaboliques provoquées par la substance toxique sont-elles cumulatives au cours des générations successives d'organismes vivants?*

On réfère ici tout spécialement aux altérations génétiques au niveau de la gamétogénèse qui sont transmissibles au pool génétique des descendants.

13. *La substance toxique s'accumule-t-elle dans l'organisme affecté?*

Les substances toxiques après avoir été mises en contact avec l'organisme sont souvent assimilées et acheminées, soit par diffusion simple ou facilitée, soit par transport de masse liquide ou solide au sein de l'organisme. Généralement ces substances, essentielles ou non, mais bio-interférentes, seront métabolisées de quelque façon, puis excrétées au niveau d'un épiderme quelconque. Il arrive pourtant que des substances soient excrétées d'un organisme plus lentement qu'elles sont absorbées; dans ces conditions, il y aura accumulation dans l'organisme de la substance ou de ses dérivés.

14. *Quelles sont les fonctions physiologiques affectées?*

Généralement quand une fonction métabolique est affectée, il en résulte un affaiblissement d'une ou de plusieurs fonctions physiologiques, soit au niveau cellulaire, soit au niveau de l'organisme entier. On entend par fonctions physiologiques, les transports passifs et actifs, la respiration cellulaire, la protéosynthèse, la liposynthèse, la respiration de l'organisme, l'activité musculaire, l'activité nerveuse, etc...

15. *Quels sont les effets pathologiques associés?*

Il a été clairement établi que l'état pathologique d'un organisme jouait un rôle important dans sa sensibilité à une substance toxique; ainsi, une déficience hépatique peut affecter les mécanismes de détoxification tout comme les déficiences rénales qui diminuent l'efficacité de la filtration glomérulaire et la capacité d'excrétion de l'organe; de plus, des déficiences glandulaires ou un état général de malnutrition diminuent la résistance de l'organisme à l'intoxication. Inversement, l'action de toxiques sur les fonctions physiologiques ou sur le métabolisme des organismes entraîne des conditions pathologiques, tels des nécroses hépatiques ou rénales, des ulcères au tractus digestif, des éruptions épidermiques, etc...; de manière générale, l'intoxication d'un organisme réduit sa résistance à la fatigue et à la maladie.

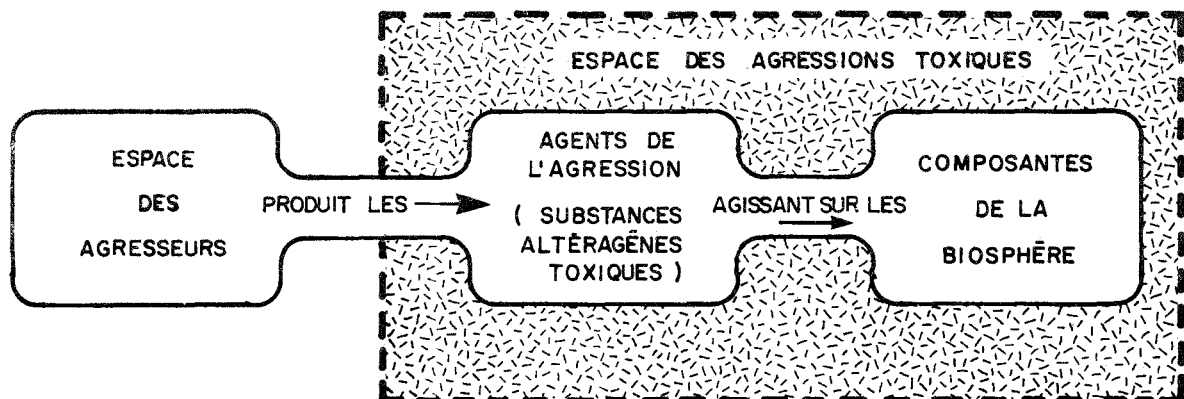
16. *Quel est le rôle des organismes affectés au sein de l'écosystème?*
17. *Comment les organismes composant l'écosystème et qui ne sont pas immédiatement affectés viendront-ils en contact avec la substance toxique?*
18. *Quelles sont les relations intra et inter-spécifiques qui seront compromises par l'effet de la substance toxique?*
19. *Comment les organismes les moins affectés réagiront-ils face aux organismes affectés par la substance toxique?*
20. *Quels sont les organismes dont la survie est menacée par la substance toxique considérée?*

Dans les circonstances évoquées par les questions thématiques regroupées ci-haut, il est inéluctable que l'on s'interroge sur les implications directes pour la santé et le bien-être de l'homme; on reconnaît aussi que toute agression toxique indirecte est susceptible d'affecter directement l'homme.

21. *Comment l'homme vient-il en contact avec la substance toxique?*
22. *Son bien-être, sa santé, sa survie, sa liberté sont-ils menacés par la substance toxique considérée?*

4. L'ÉVALUATION DE L'AGRESSION TOXIQUE

On peut schématiser l'agression toxique de la façon suivante:



Il existe un ensemble d'agresseurs (la combustion, les industries métallurgiques, chimiques, agricoles et minières, les activités urbaines) qui produisent des agents d'agression ou substances toxiques qui, par leur interférence avec les processus vitaux, commettent l'agression toxique. La diversité des agresseurs et le nombre élevé d'agents divers d'agression ne permettent certes pas de circonscrire adéquatement l'espace des agressions toxiques propre à une nation. De plus, toutes les agressions n'ont pas la même intensité, la même altérabilité; ainsi, des substances hautement toxiques mais produites en faible quantité seront vraisemblablement moins altérables (agressives) que des substances d'une toxicité moindre mais dispersées en abondance dans l'environnement.

Il convient donc, en tout premier lieu, d'identifier les agents de l'agression pour lesquels il est actuellement important de circonscrire l'agression toxique ou tout au moins de l'évaluer puis, selon l'importance relative de l'agression, d'identifier les agresseurs; finalement, au plan d'une intervention technocratique ou politique, il est essentiel d'établir avec objectivité la conjoncture de l'agression et ses circonstances atténuantes.

Le choix des agents agresseurs

L'identification de substances toxiques pouvant se comporter comme des agents agresseurs (substances altérables toxiques) est une opération fort délicate dont la justesse est primordiale si l'on veut bien circonscrire la problématique de l'agression. En effet, d'une part, les substances toxiques sont fort diversifiées et les connaissances scientifiques à leur sujet pas toujours complètes et pertinentes; d'autre part, la majorité d'entre elles sont impliquées, soit directement, soit indirectement dans de nombreux processus de transformation ou au sein d'activités humaines importantes dans le maintien d'une certaine

dynamique socio-économique. On ne peut donc, sous l'hypothèse simple du danger pressenti ou d'une certaine agression éventuelle, embrasser d'un seul coup toutes les substances toxiques et les considérer, au même titre, comme des agents de l'agression.

Afin de limiter le nombre de substances pouvant se qualifier comme des agents de l'agression toxique, il convient d'établir certains critères de choix. En considérant qu'une substance toxique peut être une substance essentielle à la vie (par exemple: Cu, Zn, Cr, etc...) ou encore une substance non essentielle¹ présente naturellement dans le milieu (par exemple: Hg, Pb, As) ou encore une substance synthétique, on peut regrouper les critères sous les trois catégories suivantes:

les substances essentielles:

seront considérées comme des agents de l'agression toxique, les substances essentielles à la vie dont la *léthalité* a été observée pour des organismes sensibles à des concentrations plus faibles ou du même ordre de grandeur que les concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu.

les substances naturelles non essentielles à la vie:

seront considérées comme des agents de l'agression toxique, les substances naturelles non essentielles à la vie ayant provoqué des *symptômes de toxicité* chez des organismes sensibles, à des concentrations plus faibles ou du même ordre de grandeur que les concentrations susceptibles d'être rencontrées dans le milieu, ou encore, les substances qui ont tendance à s'accumuler dans des organismes ou au long de la chaîne alimentaire même si elles ne provoquent pas l'apparition de symptôme de toxicité.

¹ Seront considérées comme des substances non essentielles, les substances pour lesquelles il n'a pas encore été possible de démontrer qu'elles étaient indispensables au métabolisme d'organismes vivants.

les substances artificielles:

seront considérées comme des agents de l'agression toxique, les substances artificielles qui ont manifesté des aptitudes à exercer une *pression toxique quelconque* à des concentrations faibles si elles sont labiles et si leurs dérivés sont moins toxiques qu'elles-mêmes tout en étant labiles eux aussi dans des conditions environnementales normales;

seront considérées comme des agents de l'agression toxique, les substances artificielles qui ont tendance à s'accumuler dans les organismes vivants quelle que soit leur toxicité évaluée;

seront considérées comme des agents de l'agression toxique, les substances artificielles réfractaires ne s'accumulant pas dans le vivant qui ont manifesté des aptitudes à exercer une pression toxique à des concentrations faibles ou moyennes, concentrations moyennes étant entendues ici comme des concentrations 10 fois supérieures aux concentrations que l'on peut prévoir retrouver dans le milieu localement aux endroits où cette substance est synthétisée, utilisée, entreposée ou rejetée dans le milieu;

seront considérées comme des agents de l'agression toxique, les substances artificielles dont les dérivés rentrent sous l'une ou l'autre des conditions énumérées précédemment.

La gravité de l'agression

Parmi les agents de l'agression toxique (les substances altérogènes toxiques) qui peuvent être identifiés, tous ne revêtent pas la même importance quant à leur rôle délétère. Connaissant la structure de l'agression, il est possible d'en évaluer l'intensité avec une certaine objectivité. On peut imaginer, à titre d'exemple, un système d'évaluation de l'intensité relative de l'agression qui tient compte à la fois de la nature de la substance, de son mécanisme de genèse ou d'introduction dans le milieu, de l'intensité de son action toxique, de ses répercussions sur les équilibres écologiques et de son incidence ultime sur l'homme.

Cependant, pour procéder à l'évaluation, il est nécessaire de situer le contexte général¹ de l'agression: considérons ici l'évaluation de l'intensité de l'agression environnementale d'une substance altéragène toxique artificielle, c'est-à-dire synthétisée par l'homme et non présente naturellement dans le milieu. La méthode présentée ici, fort simple, repose essentiellement sur un score d'intensité relative calculé d'après un questionnaire situant chaque caractère de l'agression capable de témoigner de sa gravité. Ainsi, une substance artificielle très toxique, réfractaire, qui s'accumule dans le vivant, utilisée en grande quantité, serait responsable d'une agression toxique beaucoup plus intense qu'une substance modérément toxique, très labile, dont les dérivés ne sont pas toxiques et qui, par surcroît, ne s'accumulent pas dans les organismes vivants.

EXEMPLE DE QUESTIONNAIRE. Evaluation de l'intensité relative d'une agression associée à une substance altéragène toxique artificielle.

1. *Est-ce que la quantité journalière moyenne d' "unités toxiques" utilisée ou manipulée dans la nation est élevée?*

Si C_T est la concentration dans l'eau douce exprimée en ppm à laquelle se manifestent des symptômes de toxicité chez des organismes sensibles, alors le poids d'une unité toxique est fixé à: $1 \text{ mg} \times \frac{C_T}{1} \text{ ppm}$.

Ainsi, si la concentration (C_T) à laquelle se manifestent des symptômes de toxicité pour des organismes sensibles est de 0.01 ppm, alors le poids d'une "unité toxique" est fixé (*arbitrairement*) à .01 mg.

Le nombre journalier moyen d' "unités toxiques" utilisé dans la nation est donc égal à: $\frac{\text{Poids de toxique utilisé par jour}}{\text{Poids d'une "unité toxique"}}$.

¹ Rappelons ici qu'il peut s'agir d'une substance altéragène toxique essentielle à la vie, non essentielle à la vie mais présente naturellement dans le milieu ou encore d'une substance altéragène toxique artificielle.

Ainsi, si on utilise 100 kg par jour d'une substance ayant une unité toxique de poids de .01 mg, le nombre d'unités toxiques est de $100 \times 10^6 \div 10^{-2} = 10^{10}$ unités toxiques utilisées par jour.

A partir d'une telle démarche, il est possible d'établir une échelle relative d'utilisation d' "unités toxiques" à laquelle se rattache un score de gravité relative qui sera ultérieurement intégré dans l'évaluation de la gravité de l'agression.

2. *Est-ce que le territoire national est assujéti à l'influence hydrologique ou climatologique d'autres territoires sur lesquels on utilise ou manipule des substances toxiques?*

Dans un tel contexte, le score devra être évalué par le biais de mesures sur le terrain ou d'un système d'évaluation basé sur l'usage de la substance sur les territoires susceptibles d'influencer la présence de substances toxiques sur le territoire national.

3. *Est-ce que le nombre d' "unités toxiques" perdues et rejetées dans l'environnement lors de l'utilisation ou de la manipulation est élevé?*

Comme étape préliminaire à l'établissement du score qui sera intégré à l'évaluation de la gravité relative de l'agression, on établit une moyenne (en %) de perte et de rejet à l'environnement d' "unités toxiques". Pour une perte moyenne de 5% et un rejet de 10%, soit 15% au total, rapportée à l'exemple précédent, le nombre d' "unités toxiques" injectées dans l'environnement serait de 15×10^9 . Ainsi, moins le contrôle sur les pertes est efficace et plus les rejets à l'environnement sont élevés, plus l'intensité relative de l'agression est élevée.

4. *La persistance (temps de résidence) de la substance toxique dans l'environnement est-elle élevée?*

Le temps de résidence d'une substance dans l'environnement pour un constituant donné est défini comme étant la masse m de cette substance divisée par le taux d'entrée ou de sortie (Bowen, 1975). A l'équilibre, le taux d'entrée du constituant étant égal au taux de sortie, le temps de résidence (τ) peut s'écrire:

$$\tau = m_0 / \left(\frac{dm}{dt} \right)$$

Par analogie, si N_{tox} est le nombre d' "unités toxiques", on peut écrire:

$$\tau = N_{\text{tox}} / \left(\frac{dN_{\text{tox}}}{dt} \right)$$

En continuant le développement avec $\frac{dN_{tox}}{dt} = kN_{tox}$, on obtient:

$$N_{tox} = N_{0tox} (1 - e^{-t/\tau}).$$

Ainsi, par cet exemple incomplet, on voit qu'il est possible d'établir une échelle fixant le score de gravité d'une agression due à une substance toxique en évaluant son temps de résidence moyen dans l'environnement. Cet exercice est possible même si on considère plusieurs compartiments du milieu ayant un temps de résidence différent. En effet, en généralisant les équations de Bowen (1975), on obtient facilement:

$$N_{tox} \text{ (global)} = N_{0tox} \sum_i A_i \tau_i (1 - e^{-t/\tau_i})$$

ou N_{0tox} : la quantité injectée au départ dans le milieu

A_i : la caractéristique de chaque compartiment

avec $\sum A_i$: 1

et τ_i : le temps de résidence dans chaque compartiment.

Le temps de résidence sera affecté par le taux d'entrée ou de sortie de la substance dans un compartiment et par la vitesse de dégradation. Ainsi, plus une substance est labile, plus son temps de résidence sera court. Une formulation plus adéquate ferait intervenir le taux de dégradation qu'elle combinerait mathématiquement avec les taux d'entrée et de sortie dans les différents compartiments.

5. *Quelle est la toxicité des dérivés de la substance toxique considérée?*

Le score d'intensité relative de l'agression est d'autant plus élevé que la toxicité de ses dérivés dans le milieu le sera. Ainsi, en tout temps:

$$N_{tox} \text{ total} : N_{tox} \text{ (substance mère)} + \sum_i N_{i tox}$$

ou $N_{i tox}$: nombre d' "unités toxiques" du dérivé.

6. *Est-ce que la dispersion aux points d'injection est grande?*

D'aborder l'évaluation de l'intensité d'une agression toxique sous l'angle de la dispersion dans l'environnement est fort délicat et certes plus difficile à trancher. En effet, une substance toxique est-elle plus agressive si elle est dispersée dans l'environnement à des concentrations faibles mais détectables que si elle est localisée dans des sols ou dans des sédiments à des concentrations plus fortes qui risquent d'être toxiques? Pour les besoins de l'exercice, puisqu'il est nécessaire de porter ici un jugement de valeur, et en tenant compte que:

- plus une substance toxique est dispersée dans le milieu et plus elle est réfractaire et plus elle s'accumule dans le vivant, plus son agressivité est grande;
- plus une substance toxique est dispersée dans le milieu et plus sa labilité est grande, ses dérivés n'étant point toxiques, moins elle est susceptible de causer de problèmes;

on considèrera que:

- a) dans le cas où les dérivés de la substance ne sont pas toxiques, le score d'intensité relative de l'agression sera d'autant plus faible que la dispersion dans le milieu sera grande et que son temps de résidence sera faible;
- b) dans le cas où les dérivés de la substance sont toxiques (autant ou plus que la substance mère) et que leur capacité d'accumulation dans le vivant est grande, le score d'intensité relative de l'agression sera d'autant plus grand que la dispersion dans le milieu sera grande et que le temps de résidence de la substance toxique mère et de ses dérivés sera grand.

Un questionnaire plus complet ferait aussi intervenir l'homme, sa santé, son bien-être, sa liberté, son devenir; toutefois, un tel déve-

l'opinion déborde largement le cadre de l'énoncé de la problématique générale¹.

A ce stade de réflexion, cet exercice voulait plutôt montrer qu'il est possible d'établir avec objectivité une échelle permettant de situer l'intensité relative de l'agression de diverses substances toxiques, que ces substances soient naturelles ou artificielles.

Les agresseurs

Une fois évalué le score de l'intensité relative de l'agression toxique, il est possible d'établir des priorités dans l'intervention technocratique sur les causes (les agresseurs), les effets (les agresseurs spécifiques²) et les conséquences éventuelles sur la santé et le bien-être de l'homme ainsi que sur ses organisations socio-économiques. Ainsi, cette analyse permettra non seulement de localiser l'intervention sur quelques agents de l'agression mais d'identifier la nature même des agresseurs passés, actuels et potentiels.

Même si une substance toxique est reconnue comme l'agent d'une agression toxique très intense, tous les agresseurs, c'est-à-dire les usagers et les manipulateurs de la substance ou encore un foyer naturel où elle abonde, n'ont pas le même niveau de responsabilité dans l'agression proprement dite. *Aussi les forces d'intervention doivent-elles être modulées de façon à tenir compte des responsabilités relatives de chacun des agresseurs.* Ceci, non seulement pour satisfaire une équité socio-environnementale, mais aussi pour accroître l'efficacité de l'intervention et son rendement à long terme.

¹ On pourrait évidemment poursuivre le développement du questionnaire soit en l'articulant davantage avec un nombre plus grand de questions clés ou en l'affinant en fonction d'objectifs plus précis.

² Une agression spécifique est entendue ici au sens régional ou local, tandis que l'agression toxique (*globale*) est définie au plan national; une agression toxique modérément intense à l'échelle nationale peut être très intense au plan local.

Au plan méthodologique, le partage de la responsabilité entre différents agresseurs sera fait en termes de manutention directe ou indirecte de la substance toxique, de pertes incontrôlables et contrôlables, d'évacuations volontaires vers l'environnement, d'effets directs ou indirects à la santé de l'homme, et d'assaut au privilège de la pleine jouissance des ressources de son patrimoine environnemental.

On doit s'attendre à regrouper les agresseurs selon leur type et selon la nature de l'agent d'agression. Ainsi, les agresseurs pourront être diffus dans l'espace ou dans le temps (par exemple: les citadins utilisant des insecticides au cours de l'été) ou parfaitement circonscrits en un lieu et astreints à un "programme d'agression" (par exemple: une usine de soude caustique utilisant un procédé d'électrolyse au mercure); par ailleurs, l'agression par voie de contamination naturelle de l'environnement ne pouvant, au même titre qu'une activité humaine, être considérée comme un agresseur, on y référera par l'expression "lieu de production naturelle".

Les circonstances atténuantes

Après avoir procédé à l'identification des agresseurs et déterminé (objectivement) leur rôle dans l'agression spécifique analysée, ou plus généralement, après avoir établi les circonstances de l'agression toxique spécifique, il est important, au plan de l'intervention techno-politique, de faire intervenir les "circonstances atténuantes" dans le jugement porté sur la gravité réelle de l'infraction à l'éthique environnementale. Plutôt que d'ouvrir la voie à la "tolérance négociée" ou d'insérer dans le processus de normalisation le "on ne peut pas faire autrement" qui anéantit le dialogue dans la recherche d'une solution intégrée aux problèmes soulevés par la présence de substances toxiques dans le milieu, l'analyse des "circonstances atténuantes" permet de faire ressortir les éléments sur lesquels l'intervention doit agir, si

elle se veut adéquate à la problématique et rentable à moyen et à long terme. En effet, non seulement l'analyse des circonstances atténuantes permet-elle de remonter aux causes profondes d'une agression, elle débouche aussi sur un cadre rationnel d'interventions tenant compte, à la fois, de priorités et de réalités sociales, économiques et environnementales¹.

Les efforts pour circonscrire les "circonstances atténuantes" porteront au moins sur les points suivants:

1. *Situer l'agression toxique dans son cadre traditionnel.*

Toute agression toxique, mis à part de la mise en bio-disponibilité naturelle de substances toxiques que l'on considère comme une contrainte naturelle au développement des écosystèmes, est engendrée par un ensemble de circonstances telles l'ignorance de l'action toxique d'une substance, la nécessité de l'utiliser ou de la manipuler, la négligence systématisée, l'appât des bénéfices à court terme, les difficultés financières des agresseurs, les valeurs sociales quant au respect de l'intégrité environnementale, l'incapacité d'agir, la concurrence économique et technologique, la décadence morale et structurelle, etc... Ainsi, l'agression qui s'établit progressivement dans le temps est un processus bien structuré qu'il n'est pas facile de renverser ou même de ralentir; en effet, les perturbations que l'intervention peut entraîner au sein des composantes qui ont permis à l'agression de naître et de se consolider, qu'elles soient de nature économique, sociale ou politique, agissent comme un frein à l'action qui tente de contenir et d'amenuiser la dite agression.

La connaissance du cadre traditionnel dans lequel s'inscrit une agression particulière permettra éventuellement d'identifier les foyers de résistances à l'intervention qui tente de la contenir; sous cet éclairage, l'intervention, en agissant sur les éléments qui consolident l'agression, sera d'autant plus efficace et rentable, c'est-à-dire moins coûteuse en efforts et moins perturbante politiquement. Parmi les composantes du cadre traditionnel de l'agression toxique, on retrouve:

¹ Notons ici que dans la pratique actuelle, on tient compte de la conjoncture générale favorisant l'agression quand on tente d'agir sur les causes; toutefois, il existe peu de critères pour guider ce type de négociation.

- l'âge de l'agression et le temps depuis lequel l'agresseur y joue un rôle déterminable;
- la vocation locale, régionale ou nationale de l'agresseur;
- le rôle traditionnel de l'agresseur dans l'économie locale ou régionale;
- l'histoire fiscale, économique et technologique de l'agresseur (impôt, profit, perte, innovation, etc...);
- les problèmes dérivés de l'agression qui ont surgi dans le passé (rôle joué par les citoyens, les médias d'information, le gouvernement dans ces problèmes);
- l'évolution du rôle de l'agresseur dans le temps (mesure correctrice, expertise, collaboration, etc...).

2. *Situer l'agression toxique et les agresseurs dans leurs cadre socio-économique actuel.*

Selon les circonstances, il sera plus adéquat de situer l'agression toxique globale (par exemple, le mercure au Québec) dans son cadre socio-économique actuel plutôt que d'analyser celui d'une agression toxique spécifique (par exemple, le mercure à Lebel sur Quévillon); en effet, la gravité relative de l'agression toxique globale peut à elle seule justifier une intervention non discriminatoire où les circonstance atténuantes seront perçues uniquement à l'échelle de la nation entière (telle serait par exemple la démarche qui aurait débouché sur l'interdiction pure et simple d'utiliser ou de manipuler l'agent agresseur. Ces circonstances ne se rencontreront guère dans la pratique à court terme et la majorité des agressions devront être perçues à la fois globalement et spécifiquement.

Pour chaque type d'agresseur ayant un rôle à jouer dans une agression toxique, globale ou spécifique, on aura davantage à établir des critères de performance et des indicateurs de faisabilité de l'intervention permettant de juger, en toute équité socio-environnementale, la conjoncture sociale et économique présidant à l'agression toxique. Cette démarche comporte aussi une analyse "bénéfices socio-économiques - risques socio-environnementaux"¹ pour

¹ Bien que l'on n'aborde pas dans ce propos la philosophie et la technique de l'évaluation "risques bénéfiques", il faut admettre que son rôle à court terme ne sera pas négligeable dans l'analyse des circonstances atténuantes. Pour plus d'information à ce sujet, le lecteur pourra se référer aux auteurs Schweitzer (1975) et Tihansky et Kibby (1975).

chaque agent de l'agression (substance altéragène toxique) et ultérieurement, des analyses "risques-bénéfices" plus spécifiques à chaque type d'agresseur. Ces agresseurs pourront être perçus, selon le cas, comme étant les citoyens, les groupes de citoyens (association sportive, club récréatif, etc...), les travailleurs individuels (cultivateurs, restaurateurs, etc...), les travailleurs regroupés sous une corporation professionnelle (dentistes, médecins, chimistes, plombiers, etc...), l'industrie sous toutes ses formes, les municipalités, les différents niveaux de gouvernement (provincial et fédéral), ou même un gouvernement étranger. Dans une première étape de cette démarche de perception de l'environnement social et économique de l'agression, on se limitera à deux types d'agresseurs:

- *les différents niveaux de gouvernement*¹ (municipal, provincial, fédéral) en tant qu'institutions mandatées de la population et responsables de la concrétisation de ses valeurs éthico-morales;
- *l'industrie* sous toutes ses formes en tant que personne morale jouissant du privilège d'exploiter le travail de l'homme et les ressources collectives pour croître et se consolider.

Pour ces deux types généraux d'agresseurs, il est possible d'établir une gamme de critères de performances et d'indicateurs de faisabilité permettant d'étayer par des faits les circonstances de l'agression.

Les indicateurs de la faisabilité d'un contrôle des pertes involontaires ou de rejets volontaires d'une substance altéragène toxique devront être conçus de façon à permettre de comparer, pour un agresseur donné, sa situation à celle d'un autre agresseur du même type dans des pays d'économie semblable. Dans le cas d'un type particulier d'industrie, par exemple, on peut utiliser avantageusement les rapports suivants:

1.
$$\frac{\text{nombre d'unités toxiques (\# UT) manipulées/jr}}{\text{flux d'eau locale/Jr (ex.: section } 100 \text{ km}^2)}$$
2.
$$\frac{\# \text{ UT perdues/jr} \times 100}{\# \text{ UT manipulées/jr}}$$
3.
$$\frac{\# \text{ UT rejetées/jr} \times 100}{\# \text{ UT manipulées/jr}}$$

¹ On remarquera que les institutions gouvernementales peuvent être des agresseurs directs par leurs activités diverses ou des agresseurs par voie de transposition de la responsabilité du citoyen vers l'état. Dans ce dernier cas, il ne s'agit pas d'atténuer davantage la responsabilité de l'individu, mais au contraire de la confirmer en la cristallisant à l'un ou l'autre des niveaux gouvernementaux.

4. $\frac{\# \text{ UT perdues/ir} + \# \text{ UT rejetées au milieu/jr}}{\text{coût de la manipulation/jr}}$
5. $\frac{\# \text{ UT manipulées/heure}}{\text{nombre d'heures-tonnes au sein de l'industrie}}$
6. $\frac{\# \text{ UT manipulées/heure}}{\text{salaires horaires moyen}}$
7. $\frac{\# \text{ UT manipulées/an}}{\# \text{ profit net annuel}}$
8. $\frac{\# \text{ UT manipulées/an}}{\text{chiffre d'affaires annuel}}$
9. etc...

Ces rapports, en les établissant pour plusieurs industries du même type ou même pour l'industrie en général, permettront de situer avec précision les résistances économiques rencontrées au plan de l'intervention techno-politique, d'établir la compatibilité socio-environnementale de ses opérations et même d'évaluer la longévité d'une industrie particulière au sein des tensions économiques engendrées par les efforts de sauvegarde du milieu.

Quant aux critères de performance, ils seront surtout utilisés pour évaluer le progrès réalisé par un agresseur dans sa lutte pour amenuiser son rôle au sein de l'agression toxique. On reconnaît ainsi que plusieurs agresseurs (les gouvernements et l'industrie) ont déjà perçu leur implication dans l'agression toxique et amorcé un programme visant à y réduire leur participation. Tout comme les indicateurs de faisabilité dont plusieurs peuvent être repris à ce niveau, les critères de performance permettront de situer la volonté d'un agresseur particulier par rapport à d'autres du même type ailleurs au pays ou dans le monde. Ces critères de performance pourront être du type suivant:

1. $\frac{\text{sommes investies dans le contrôle}}{\# \text{ UT manipulées}}$
2. $\frac{\text{sommes investies dans le contrôle}}{\# \text{ UT perdues} + \# \text{ UT rejetées}}$
3. gain annuel dans le contrôle des UT
4. $\frac{\text{gain annuel en investissement dans le contrôle}}{\text{gain annuel en bénéfice}}$
5. etc...

Il est évident que chacun des indicateurs ou critères du type énoncé ci-haut a une signification en soi qui permet d'améliorer la qualité du jugement rendu sur la nécessité de l'intervention, sur son style, sur ses objectifs, etc...

3. *Situer l'agression toxique et les agresseurs dans un cadre prospectif.*

L'agression toxique est un processus complexe qui fait intervenir un ensemble d'éléments (sociaux, économiques, politiques et environnementaux) qui, par leur interaction réciproque, lui permettent de naître, de croître, de se consolider et, éventuellement, de s'atténuer et de disparaître. Les différents types d'agressions globales ou spécifiques n'en sont pas tous évidemment au même stade de leur évolution. Il importe donc de connaître "l'état évolutif" de l'agression si on veut être en mesure de juger de la conjoncture environnementale qui la favorise et d'y adapter les mesures interventionnistes qui s'imposent.

Pour ce faire, il est essentiel de reconstituer l'agression avec ses éléments principaux et de profiler son évolution dans le temps au fil des événements porteurs d'avenir.

5 L'INTERVENTION GOUVERNEMENTALE

L'intervention gouvernementale en matière de contrôle de l'injection dans l'environnement de substances toxiques ne peut être motivée uniquement par leur présence en abondance normale ou singulière. Si, d'une part, au plan théorique, cet effort est inutilement coûteux, au plan pratique, un contrôle adéquat est irréalisable à court terme par les moyens traditionnels; en effet, considérant qu'aux Etats-Unis seulement, au delà de 9,000 substances organiques sont produites en des quantités commerciales totalisant chaque année plus de 60×10^9 kg (Howard, 1975) et qu'il existe en circulation plusieurs milliers de substances toxiques connues¹, on doit s'attendre à en retrouver une majorité d'entre elles, en des proportions moindres cependant, sur le terri-

¹ Chaque année, de 300 à 500 nouveaux produits chimiques commerciaux sont introduits sur le marché; on estime à environ \$100,000 à \$200,000 par produit chimique le coût pour évaluer leur toxicité chimique (Howard, 1975).

toire québécois.

Réciproquement, l'intervention gouvernementale se justifie d'elle-même quand il s'agit de contrôler l'injection volontaire ou involontaire de substances toxiques dans l'environnement qui compromettent le développement social et culturel de l'homme, soit par l'agression directe à sa santé ou à son bien-être, soit en affaiblissant les structures des écosystèmes auxquelles sa survie ou celle des institutions sous leur forme actuelle sont intimement liées.

Le sens de l'intervention gouvernementale

L'intervention gouvernementale dans les problèmes soulevés par la présence des substances toxiques doit s'interpréter comme étant un geste concret dans la reconnaissance de l'indissolubilité absolue de la qualité de vie et de la qualité du milieu; on ouvre ainsi la voie à une réflexion concertée sur le rôle de l'homme moderne dans le maintien de la dynamique économique qui assure la cohésion dans le développement de la nation et sur le rôle réciproque de l'état dans la préparation d'un milieu de vie sain propice à la poursuite d'idéaux de justice sociale et de liberté.

La raison de l'intervention

En compromettant la santé et le bien-être de l'homme ou en limitant la pleine jouissance de son patrimoine environnemental, l'injection croissante de substances toxiques dans le milieu entraînera, à moyen terme, des perturbations sociales et politiques qui auront des répercussions considérables sur les institutions actuelles. L'intervention est plausible et même souhaitable actuellement parce qu'elle cristallise un mécanisme auto-régulateur de stabilité politique et économique qui se traduit par la recherche d'une amélioration continue des conditions de vie morales, physiologiques et matérielles de la population.

L'objectif de l'intervention

Les substances toxiques présentes dans l'environnement sont susceptibles de porter atteinte à la santé de l'homme (agression toxique directe) et à l'intégrité de son milieu de vie (agression toxique indirecte). L'objectif central de l'intervention gouvernementale est de contrer l'agression toxique.

Le sujet de l'intervention à court terme

Trois situations distinctes peuvent engendrer l'intervention gouvernementale:

- la présence dans l'environnement de substances altérageuses toxiques (ou agents de l'agression toxique),
- l'activité manifeste d'agresseurs potentiels,
- l'apparition des syndromes de l'agression toxique à la santé de l'homme ou à son milieu de vie.

L'espace, objet de l'intervention

On peut circonscrire deux espaces distincts, objet de l'intervention:

- l'espace des agressions toxiques directes, c'est-à-dire les agressions à la santé et au bien-être de l'homme,
- l'espace des agressions toxiques indirectes, c'est-à-dire les agressions qui portent atteinte aux écosystèmes, composantes fondamentales du milieu, support aux activités de l'homme.

Les agressions toxiques peuvent être perçues comme globales dans le cas où elles se manifestent avec une intensité telle qu'il n'est pas nécessaire de remonter aux agresseurs pour intervenir; dans ce cas, l'intervention gouvernementale est générale au plan administratif et uniforme dans ses points d'actions sur les causes ou agresseurs. Les agressions toxiques peuvent aussi être perçues comme spécifiques, lorsqu'elles ne représentent pas de danger grave pour la population en général ou lorsqu'elles ne constituent pas une menace à l'échelle du territoire national; dans ce cas, l'intervention gouvernementale est spécifique à l'agression, à l'agent d'agression ou encore aux agresseurs eux-mêmes.

Le contexte de l'intervention

L'intervention gouvernementale se situe toujours dans le contexte d'une coexistence indubitable des systèmes social, environnemental, économique et politique. Si elle se veut adéquate, l'intervention devra satisfaire aux conditions et exigences imposées par l'évolution harmonieuse des quatre composantes du supra-système national.

Les activités interventionnistes

Les activités gouvernementales peuvent être regroupées, selon leur nature, sous trois groupes distincts:

- la recherche et l'identification des agents de l'agression, des agressions toxiques et des agresseurs eux-mêmes,
- l'évaluation de l'intensité relative de l'agression globale ou spécifique et la détermination du rôle des agresseurs au sein de l'agression spécifique,
- l'intervention, générale ou ponctuelle, pour contrer l'agression toxique (globale ou spécifique), tenant compte des circonstances atténuantes et de la conjoncture sociale, économique, environnementale et politique.

Il est évident que ces activités interventionnistes se dérouleront dans un cadre méthodologique intégrant, au sein de la stratégie d'intervention, des préoccupations à court, à moyen et à plus long terme.

BIBLIOGRAPHIE

ANONYME. (1975).

Principles for evaluating chemicals in the environment. A report of the Committee for the working conference on principles of protocols for evaluating chemicals in the environment. National Academy of Sciences, Washington, D.C.

BOWEN, H.J.M. (1966).

Trace elements in biochemistry. Academic Press, London and New-York.

BOWEN, S.M. (1975).

Residence times of heavy metals in the environment. Conférence internationale sur les métaux lourds dans l'environnement. Vol.: 1-19, Toronto, Canada. Oct.: 27-31.

FERGUSON, J.F. et J. DAVIS. (1972).

A review of the arsenic cycle in natural waters. Water Research, Pergamon Press. 6: 1259-1274.

GAVIS, J. et J.F. FERGUSON. (1972).

The cycling of mercury through the environment. Water Research, Pergamon Press. 6: 989-1008.

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 EPA-560/1-75/003.

LAUWERYS, R. et LAVENNE. (1972).

Précis de toxicologie industrielle et des intoxications professionnelles. Editions J. Duculot.

LEBLANC, F., G. ROBITAILLE et D.N. RAO. (1974).

Biological response of lichens and bryophytes to environmental pollution in the Murdochville copper mine area, Québec, Journ. Hattori Bot. Lav. 38: 405-433.

McKIM, J.M., D.A. BENOIT, K.E. BIESINGER, W.A. BRUNGS et R.E. SIEFERT. (1975).

Effect of pollution of fresh water fish. Litterature review, Journal of WPCF, 47(6): 1711-1768.

METCALF, R.L. (1975).

Evaluation of a laboratory microcosm for study of toxic substances in the environment. Report prepared for National Science Foundation, Illinois University at Urbana-Champaign, U.S. Dept. of Commerce, PB-252982.

NEWELL, J. (1975).

Le problème des déchets toxiques enfin résolu... Spectrum 136, Fr. 1713/5.

NISBET, I.C.I. et A.F. SAROFIM. (1972).

Rate and routes of transport of PCB's in the environment. Environmental Health Perspectives, 1: 21-38.

PANEL ON HAZARDOUS TRACE SUBSTANCES. (1972).

PCB's - Environmental impact. Environmental Research, 5: 249-362.

QUALDING, C., R.M.D. SUTTON et N. KHAN. (1974).

Problème et choix de thèmes en vue d'une compilation de données cause/effet. Comité associé sur les critères scientifiques concernant l'état de l'environnement. CNRC 13339.

SCHWEITZER, G.L. (1975).

1974 - A year of transition. In Papers of a Seminar on early warning systems for toxic substances. Conference Report EPA-560/1-75/003.

TASK GROUP ON METAL ACCUMULATION. (1973).

Accumulation of toxic metals with special reference to their absorption, excretion and biological half-times. Environ. Physiol. Biochem. 3: 65-107.

TERNISIEN, J.A. (1971).

Environnement et nuisances. Précis général des nuisances. Bibliothèque de l'environnement. Guy Le Prat, Editeur, 5, rue des Grands Augustins, Paris 75006.

TIHANSKY, D.P. et H. KIBBY. (1975).

A cost risk benefit analysis of toxic substances. In Papers of a Seminar on early warning systems for toxic substances. Conference report EPA-560/1-75/003.

TRUHAUT, R. (1975).

Ecotoxicology - A new branch of toxicology: a general survey of its aims, methods and prospects. In Ecological Toxicology Research Effects of Heavy Metal and Organohalogen Compounds. Ed. A.D. McIntyre et C.F. Mills. Plenum Press, New-York and London.

WALDBOTT, G.A. (1973).

Health effects of environmental pollutants. The C.V. Mosby Company, Saint-Louis.

WALKER, W.M. (1973).

Where have all the toxic chemical gone? Groundwater, 11(2): 11-20.

WILLIAMS, R.T., P.C. HIROM et A.G. RENWICK. (1975).

Species variation in the metabolism of some organic halogen compounds. in Ecological toxicology Research. Effects of heavy metal and organohalogen compounds. Ed. A.D. McIntyre et C.F. Mills. Plenum Press, New-York and London.

WOLLAST, R., G. BILLEN et F.T. MacKENZIE. (1975).
Behavior of mercury in natural systems and its global cycle in Ecology
toxicology Research; effects of heavy metals and organohalogen com-
pounds. Ed. A.D. McIntyre et C.F. Mills. Plenum Press, New-York and
London.

WOOD, J.M., H.J. SEGAL, W.P. RIDLEY, A. CHEH, W. CHUDYK et J.S. THAYER.
(1975).
Metabolic cycles for toxic elements in the environment. Dans: Conféren-
ce internationale sur les métaux lourds dans l'environnement. Vol. I;
49-68. Toronto, Canada. oct/27-31.

WOODWELL, G.M. (1970).
Effects of pollution on the structure and physiology of ecosystems.
Science, 168(3930): 429-433.

WORKSHOP AT THE ASILOMAR CONFERENCE GROUND. (1974).
Geochemistry and the environment. Vol. I: The relation of selected
trace elements to health and disease. National Academy of Sciences,
Washington, D.C.

WORKSHOP AT CAP ON SPRINGS AND FARMS. (1977).
Geochemistry and the environment. Vol. II: The relation of other tra-
ce elements to health and disease. National Academy of Sciences, Was-
hington, D.C.