

UNIVERSITE DE QUEBEC

THESE

présentée

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences

par

Gérard Lépine, ing.

"METHODOLOGIE D'EVALUATION DES IMPACTS"

septembre 1975

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer des sentiments de reconnaissance à l'endroit du Dr. Denis Couillard, directeur de la présente thèse, pour sa collaboration continue, ses précieux conseils et l'attention qu'il a apporté à mes efforts durant cette étude.

Ma profonde gratitude s'adresse également à monsieur Dominique Mascolo, conseiller pour cette thèse, ainsi que pour monsieur Armand Rousseau pour sa collaboration dans l'aspect biologique de cette étude.

Mes sincères remerciements sont enfin adressés à monsieur André Parent, dessinateur, et à tous les membres du centre de documentation de l'INRS-eau.

TABLE DES MATIERES

	<u>PAGE</u>
RESUME	1
INTRODUCTION	2
1. GRAPHERS DE COHERENCE	5
1.1 Théorie des graphes de cohérence	5
1.2 Méthodologie d'évaluation d'impact	8
1.3 Graphes de cohérence et évaluation d'impact	16
2. CONSTRUCTION ET OPERATION D'UN SUPERPORT SUR LE ST-LAURENT	19
2.1 Localisation	19
2.2 Construction d'un superport	20
2.3 Opération d'un superport	21
3. EVALUATION PAR LE GRAPHE DE COHERENCE DE L'IMPACT D'UN SUPERPORT SUR LE ST-LAURENT	24
3.1 Définition de chacun des éléments du graphe: causes, conditions, effets	24
3.2 Explication des liens entre les différents niveaux du graphe	35
4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS	71
5. BIBLIOGRAPHIE	73
ANNEXE A: Matrices des liens entre les différents niveaux	82

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1. Méthodologies matricielles	10
2. Composition de l'eau de pluie	68

LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1. Graphe de cohérence	6
2. Graphe des impacts de la construction d'un port	25
3. Productivité primaire vs émulsion d'huile	47

RESUME

Depuis quelques années, plusieurs procédures d'évaluation des impacts ont été proposées. Aucune cependant ne réussit à cerner entièrement la question. Aussi avons-nous tenté une approche nouvelle susceptible d'améliorer les procédures déjà existantes. Nous avons appliqué la technique développée à l'implantation d'un superport sur le fleuve St-Laurent.

Nous avons essayé d'élaborer une technique permettant de procéder systématiquement à la détermination de l'ensemble des relations homme-environnement et d'en identifier rapidement les principales composantes. L'utilisation des graphes de cohérence nous a permis, croyons-nous, d'atteindre ces objectifs.

Dans une première étape, nous décomposons le projet et l'environnement potentiellement affecté en éléments indépendants et, à partir de ces éléments, nous construisons le graphe de cohérence en établissant des relations entre les éléments du projet et de l'environnement. Nous obtenons ainsi une représentation schématique de l'ensemble des relations entre les actions posées par l'homme et l'environnement affecté. Cette représentation graphique permet d'identifier très rapidement les impacts les plus sérieux pour l'environnement.

INTRODUCTION

A mesure que les populations augmentent et que la technologie se développe, l'homme a de plus en plus de possibilités pour affecter son environnement. L'époque des moulins à vent et des bateaux à voile est bien loin. Aujourd'hui l'homme veut voyager toujours plus vite et plus loin, construire toujours plus gros, et tout cela n'est rendu possible qu'en consommant toujours plus d'énergie et en produisant toujours plus de déchets. Or toute cette énergie et ces déchets finissent toujours par se retrouver dans l'environnement sous une forme ou une autre, et risque d'en modifier des paramètres aussi importants que la température et la composition de l'air dont dépendent la vie. Dans certains cas les grandes quantités d'énergie et de déchets rejetés dans l'environnement par l'homme bouleversent les cycles naturels.

Nous pouvons citer, comme exemple, le réchauffement de l'atmosphère qui "détraque" les saisons. Quant à la vie animale, dont la survie dépend du bon fonctionnement des cycles naturels, la présence ou l'absence d'un élément chimique dans l'eau ou dans l'air décide de sa survie ou de sa disparition. Longtemps, on a cru que l'homme pourrait difficilement changer le cours des cycles naturels. Ce n'est plus le cas, avec tous les moyens technologiques aujourd'hui à sa disposition.

Aujourd'hui, les problèmes d'environnement sont monnaie courante et le public en prend de plus en plus conscience. Malheureusement la technologie ne fait que commencer à s'intéresser à ces problèmes, si bien que les solutions techniques proposées ne sont pas à la hauteur des problèmes. Par exemple, les techniques d'évaluation des impacts sur l'environnement sont encore bien peu développées; on n'a, pour ainsi dire, pas encore

3

appris à diagnostiquer les maux de l'environnement et pourtant, on se rend bien compte que c'est là un outil indispensable pour lutter contre la pollution et la dégradation des espaces.

Ce travail propose une méthodologie nouvelle pour l'évaluation des impacts sur l'environnement. Nous avons choisi d'appliquer cette méthodologie à un superport projeté sur l'une ou l'autre des rives du fleuve St-Laurent, car en plus d'être un sujet d'actualité québécoise, ce superport risque d'avoir de grandes conséquences économiques, sociales et écologiques pour la population de cette partie du Québec.

L'identification systématique des relations homme-environnement et leur représentation schématique sont deux des aspects les plus intéressants de cette méthodologie. En effet, l'ensemble des relations homme-environnement devient rapidement très complexe lorsque les projets impliqués ont un peu d'envergure, et il devient alors assez compliqué d'identifier les principales de ces relations, c'est-à-dire celles qui risquent d'avoir les conséquences les plus graves pour l'environnement. L'utilisation de cette méthodologie nous oblige à décomposer ces relations en plusieurs niveaux pour en faire une représentation graphique. Les principes à la base de cette représentation sont ceux de la théorie des graphes de cohérence.

La méthodologie a été développée de façon à pouvoir être utilisée par une équipe multidisciplinaire, et ce faisant, nous croyons avoir suivi la voie la plus en mesure de répondre aux besoins actuels et futurs de l'évaluation des impacts. En effet, aucune discipline scientifique actuelle ne peut prétendre posséder les connaissances pour traiter des problèmes nombreux et variés de l'environnement. D'où la nécessité de

faire appel à une équipe de spécialistes, réunissant les disciplines scientifiques concernées par l'impact du projet à l'étude.

Cette façon de procéder implique nécessairement qu'il y aura des répétitions. Lorsque tous les membres d'une équipe pluridisciplinaire se penchent sur un même problème, même si leur formation différente leur permet de comprendre et d'expliquer un ou des aspects particuliers d'un problème, il n'en demeure pas moins qu'une certaine partie de leurs explications est commune. Donc les répétitions, que vous remarquerez dans le texte, sont voulues car ce faisant nous avons voulu simuler la succession de plusieurs spécialistes tentant d'expliquer des phénomènes qui ont très souvent quelque chose en commun.

CHAPITRE 1. GRAPHE DE COHERENCE

1.1 Théorie des graphes de cohérence

Le graphe de cohérence est un cadre formel qui permet de visualiser schématiquement les interrelations existant entre les composantes d'une action et les résultantes de cette action (Tenière-Buchot, 1973a, 1973b).

Par composantes de l'action, nous entendons l'ensemble des éléments nécessaires à la concrétisation de cette action.

Si nous étudions ces éléments plus en détail, nous découvrons que certains d'entre eux, que l'on peut qualifier d'éléments secondaires, découlent et dépendent d'un ou de plusieurs éléments antérieurs à ceux-ci, ou éléments primaires.

Ces éléments primaires et secondaires seront considérés et regroupés par la suite selon leur cohérence respective en niveaux de 1 à N selon les cas.

Quant aux résultantes de l'action, il s'agit d'un autre ensemble d'éléments susceptibles d'être affectés par la concrétisation de l'action.

Ici aussi, il pourra y avoir des éléments primaires et secondaires, donc des niveaux différents.

Le principe du graphe de cohérence est basé sur la décomposition graduelle et de plus en plus détaillée de l'action. Cette décomposition a pour but de réduire la complexité de la compréhension et de l'évaluation

de l'action. D'abord de bas en haut en niveaux, à partir du premier niveau des composantes jusqu'au dernier niveau des résultantes, niveaux qui sont interdépendants. Ensuite chacun des niveaux est décomposé sur la même ligne en plusieurs éléments indépendants et cohérents.

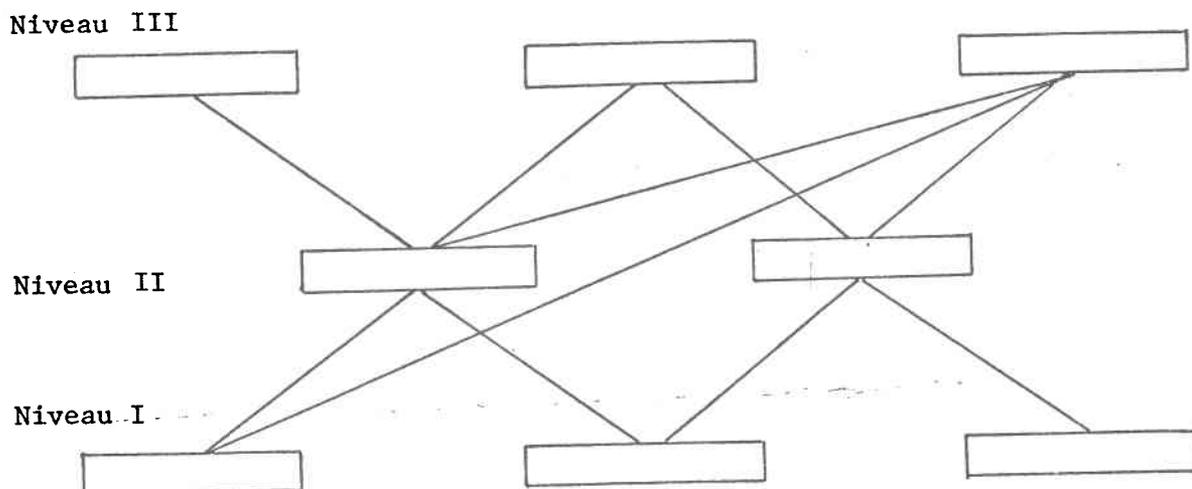


Figure 1: Graphe de cohérence

L'interrelation progresse du niveau inférieur vers le niveau supérieur (niveau I vers niveau III). Chacun des éléments des différents niveaux est relié au moyen d'arcs à un ou plusieurs éléments des niveaux supérieurs, permettant ainsi de voir s'il y aura influence d'un élément d'un niveau sur les éléments des autres niveaux supérieurs. (Voir figure 1).

La qualité du passage d'un élément d'un niveau vers un ou des éléments d'un autre niveau peut être évaluée au moyen d'une note chiffrée. D'où la nécessité d'avoir des éléments indépendants les uns des autres à l'intérieur du même niveau, c'est-à-dire que pour un même niveau aucun facteur n'a de relation directe ou implicite avec un autre.

Les principales difficultés de cette procédure sont l'identification du nombre optimum de niveaux et le respect de la cohérence dans le choix des éléments constituant chacun des niveaux. Il ne faut pas non plus oublier l'aspect évaluation chiffrée des arcs qui risque d'être difficile dépendant des procédures déjà existantes et du sujet traité.

Lorsqu'il n'existe pas déjà de procédure spécifique et quantifiable avec un haut niveau de précision permettant d'évaluer la qualité du passage d'un élément à un autre, on peut utiliser la méthode "DELPHI" basée sur la "subjectivité contrôlée". Le principe de la subjectivité contrôlée est de permettre à un groupe de spécialistes d'évaluer et de chiffrer l'importance selon des barèmes bien définis, chacun selon sa formation et son expérience, des questions se rapportant à sa discipline ou à d'autres disciplines plus ou moins connexes à la sienne. Les réponses des spécialistes sont ensuite comparées ce qui permet d'établir des fonctions de distribution et d'identifier les modes et les extrêmes de ces distributions. Ces résultats sont communiqués à tous les spécialistes du groupe en demandant à ceux dont les réponses précédentes étaient aux extrêmes s'ils maintiennent leur position ou s'ils la modifient en faveur de la moyenne. S'ils ne changent pas leur réponse, on leur demande de la justifier. Ce processus peut être répété tant que les spécialistes modifient leurs réponses lorsqu'ils prennent connaissance des résultats des autres membres du groupe. Cette méthode permet de considérer l'opinion de gens de formation et d'expérience différentes et d'obtenir ainsi des solutions basées sur une quantité beaucoup plus grande de connaissances.

1.2 Méthodologie d'évaluation d'impact

Autrefois, on concevait l'élaboration et la réalisation d'un projet comme un défi technique; au cours des dernières décennies, l'aspect économique a pris de plus en plus d'importance jusqu'à devenir le critère principal décidant de la réalisation d'un projet.

Depuis quelques années, un nouveau concept, la qualité de la vie, à pris une part importante de l'attention du public, si bien que la protection de l'environnement prend de plus en plus d'importance en tant que critère décidant de la réalisation des projets. Il est certain que l'eau et l'air purs, devenant des denrées de plus en plus rares, la préservation de l'environnement deviendra dans un avenir rapproché un problème beaucoup plus aigu qu'il ne l'est présentement.

D'ici là, il y a encore beaucoup à faire pour élaborer un système d'évaluation qui permette de prédire l'impact d'un problème sur l'environnement total qui comprendra aussi bien l'homme que la plante ou le poisson.

A ce jour, plusieurs tentatives pour construire un système d'évaluation d'impact ont été faites, surtout depuis 1970, l'année où le gouvernement américain passa la loi pour la protection de l'environnement total et obligea ainsi les sociétés publiques et privées, impliquées dans la réalisation de projets qui pourraient avoir une influence sur l'état du milieu naturel, à faire une étude des impacts possibles et probables sur l'environnement. Selon les directives établies par cette loi (NEPA: National Environmental Policy Act), les processus d'analyse des évaluations d'impact auraient trois fonctions: introduire dans

le processus de prise de décision les intangibles et les impacts sur l'environnement qui étaient négligés jusqu'alors; fournir de l'information à ceux qui prennent les décisions et au public en ce qui concerne les effets probables des projets et enfin, amener les planificateurs ainsi que ceux qui prennent les décisions à considérer de plus en plus l'environnement au même titre que l'économique. Cette loi stimula les efforts de ceux qui travaillaient dans ce domaine et plusieurs méthodologies nouvelles furent développées au cours des années suivantes.

En 1971, Léopold développa son processus d'évaluation des impacts par les matrices. La forme matricielle avait l'avantage de systématiser une démarche qui, jusqu'à présent avait été entreprise sans méthode précise. En effet, la matrice permettait de relier systématiquement les actions d'un projet, aux changements dans les conditions de l'environnement. Le système de Léopold ne permettait d'évaluer que la grandeur de chacun des impacts spécifiques et l'importance de leurs effets, mais d'autres systèmes matriciels furent développés au cours des années suivantes pour améliorer le processus. Le tableau I (Schlesinger et Daetz, 1973) évalue ces systèmes en fonction de ce qu'ils offrent pour l'évaluation des impacts.

TABLEAU I: Méthodologies matricielles

Paramètre des matrices *	Méthodologie matricielle						
	coastal zone study	Atomic energy commission	Geological survey	Bechtel Matrix	Battelle System	Optimum pathway Matrix	
Identification	X	X	X	X	X	X	
Grandeur		X	X	X	X	X	
Importance			X	X	X	X	
Durée						X	
Interrelations	X	X					
Probabilités							
Sensibilité						X	
Solutions	X			X			
Economique		X				X	
Détails du projet	X	X	X	X			

* Voir les définitions des paramètres sur les pages suivantes.

Définitions des paramètres (Schlesinger et Daetz, 1973)

- Identification:** Ce paramètre désigne les secteurs susceptibles de subir un impact.
- Grandeur:** Paramètre chiffré indiquant l'amplitude d'un impact..
- Importance:** Les effets sur l'environnement prennent des significations différentes dans un contexte local, régional ou national. Ce paramètre tient compte de ces différences de contexte.
- Durée:** Ce paramètre évalue le temps que les effets sur l'environnement se manifesteront. Ce peut être des effets à long terme (plus ou moins permanents) ou à court terme (plus ou moins temporaires).
- Interrelations:** Ce paramètre tient compte des relations pouvant exister entre les différents impacts.
- Probabilité:** Ce paramètre évalue la probabilité d'occurrence des différents impacts.
- Sensibilité:** L'importance de ce paramètre se manifeste surtout lorsqu'il y a un manque d'informations. En effet, il permet d'établir la valeur globale des informations en main.
- Solutions:** Enumération de solutions pour atténuer les effets sur l'environnement.
- Economique:** Coûts des différentes alternatives pour la réalisation du projet.
- Details du projet:** Le projet est décomposé selon ses principales phases.

On peut y voir qu'en plus des paramètres tels que l'identification des causes et des effets, la grandeur et l'importance des impacts, on a ajouté des paramètres tels que la durée de l'impact, les relations entre les divers éléments de l'environnement, la probabilité d'occurrence d'un impact, l'énumération de solutions pour réduire les impacts ainsi que la sensibilité des solutions apportées.

L'interprétation de la valeur de ces paramètres varie selon l'environnement à évaluer. L'importance de l'impact est mesurée en se basant sur la rareté des ressources et les seuils d'assimilation pour les effets physico-chimiques; lorsque nous considérons les impacts culturels ou sociaux, tels que l'esthétique, leur importance varie selon la valeur qu'une communauté locale leur attribue.

Une matrice d'évaluation d'impact se construit en deux étapes: d'abord il faut faire une liste des actions du projet qui pourront avoir un impact sur l'environnement et une liste des facteurs de l'environnement qui subiront un impact, puis on attribue à chacune des listes l'un des axes du plan. Habituellement on place les facteurs de l'environnement sur l'axe vertical et les actions du projet sur l'axe horizontal (Léopold, 1971).

De la même façon qu'on développe une matrice spécifique pour un projet, il est aussi possible de développer pour un même projet plusieurs matrices insistant sur différents aspects de l'environnement. On décompose alors le projet en sections (causes) de plus en plus spécifiques. Lorsqu'il faut choisir entre plusieurs alternatives, on juge l'impact relatif des différentes alternatives pour en arriver à choisir l'alternative ayant l'impact le plus faible.

Cette procédure s'applique aussi bien à de grands projets qu'à des projets de moindre envergure. Ainsi, Léopold (1971) nous cite l'exemple de l'implantation d'une exploitation minière dans une région isolée. Cependant, la procédure a aussi été utilisée pour représenter schématiquement l'impact d'un pipeline pour le pétrole traversant l'Alaska et le Yukon jusqu'en Alberta, un projet d'une très grande envergure.

En résumé, on peut dire qu'une matrice peut être utilisée à quatre niveaux différents dans le processus d'évaluation d'impact. Au niveau de la collecte des données, on peut se servir des matrices comme d'une liste des différents facteurs qu'il faut considérer aussi bien en ce qui concerne l'environnement que le projet. A mesure que l'analyse des données progresse, on peut noter par des symboles sur la matrice, l'importance plus ou moins grande des impacts spécifiques. Ceci nous permet de distinguer les impacts les plus importants et de prévoir, en conséquence, soit des modifications au projet, soit des données supplémentaires. Lorsque les impacts spécifiques sont quantifiés, il est possible de localiser les régions de la matrice où il y a concentration de forts impacts, ce qui permet de distinguer les impacts les plus importants. Finalement, la matrice nous permet de donner une évaluation numérique de l'impact et des diverses alternatives, ce qui permet une classification des alternatives par rapport à leur impact sur l'environnement total (Léopold, 1971).

Cependant, il semble que la matrice ne soit pas le meilleur outil pour décrire l'environnement et ses relations avec les actions de l'homme en raison de la limitation de ses deux dimensions qui ne permet pas de tenir compte de toutes les relations entre les diverses composantes

de l'environnement et du projet. Les deux dimensions de la matrice ne permettent que des relations de cause à effet alors qu'en réalité une même cause peut impliquer plusieurs changements dans les conditions; et par la suite, plusieurs effets sur l'environnement en résulteront (Sorenson, 1971). Aussi, est-il indispensable de joindre à la matrice, un texte qui explique les relations de cause à effet.

Sorenson propose un système cause-condition-effet pour mieux associer les actions des projets à l'impact sur l'environnement. Cette méthodologie permet de représenter schématiquement un ensemble de relations cause-condition-effet à partir d'une liste des principales actions de l'homme pendant l'exécution du projet. La représentation schématique qui n'est pas limitée à deux dimensions comme la matrice nous permet de tenir compte du fait que la relation entre l'action de l'homme et l'environnement n'est généralement pas une simple relation de cause à effet et que par conséquent, il peut y avoir un ou plusieurs niveaux "condition" intermédiaires (Sorenson, 1971). Les matrices développées par Sorenson s'appliquent particulièrement bien pour les évaluations d'impact dans les régions cotières. En effet, ces matrices ont été élaborées selon les caractéristiques naturelles et les utilisations du milieu de ce type de région. Il est cependant assez facile, en se basant sur les mêmes principes, de développer des matrices semblables pour des régions où les utilisations du milieu (industries, récréation, etc.) ne sont pas les mêmes.

Ces deux types de méthodologies semblent être les plus élaborées pour les évaluations d'impact. Mais il en existe d'autres qui donnent peu d'importance aux liens cause-effet dans le sens qu'elles ne contien-

ment aucun processus qui permette de les définir systématiquement ou de les représenter schématiquement. Parmi celles-ci, on peut citer celle qui consiste à superposer une série de cartes représentant les caractéristiques physiques, sociales, économiques et écologiques d'un territoire comme on le fait souvent en aménagement.

Warner (Warner, 1974b) déplore qu'après cinq ans de tentatives plus ou moins fructueuses, les processus d'évaluation des impacts sont encore à l'état embryonnaire. Toujours selon le même auteur, la nature des données utilisées, leur mode de traitement, les résultats de l'analyse ainsi que la façon dont on utilise les résultats devront évoluer avant que l'on puisse qualifier le processus de systématique. Orloff (1972) a fait un pas vers la systématisation du processus lorsqu'il a défini cinq étapes dans une évaluation d'impact. La première étape consiste à déterminer quels types d'action ont des effets sur l'environnement. Il faut ensuite identifier les effets sur l'environnement de chacun de ces types d'action, comme par exemple, une forte sédimentation ou un déversement accidentel de substances toxiques. Au cours de la troisième étape, on identifie les données dont nous avons besoin; puis à la lumière des informations recueillies au cours des étapes précédentes, on devra décider, en quatrième étape, si l'évaluation de l'impact doit être poursuivie. Enfin, en dernier lieu, des procédures doivent être définies pour que la décision prise dans la quatrième étape puisse être réalisée.

1.3 Graphes de cohérence et évaluation d'impact

En tant que méthodologie d'évaluation d'impact, les principaux avantages des graphes de cohérence sont les suivants: premièrement, ils permettent de faire une représentation graphique du problème d'impact; deuxièmement la structure souple des graphes de cohérence permet d'introduire autant de niveaux "condition" qu'il en faut, améliorant ainsi le format bidimensionnel cause-effet de la matrice.

Les relations entre l'environnement et les actions de l'homme peuvent être tellement nombreuses et diversifiées que la représentation graphique est un atout important. Elle peut être d'une aide considérable pour avoir une vue d'ensemble du problème d'impact. Les procédures actuelles d'évaluation produisent souvent des ouvrages très volumineux dont il est difficile de prendre connaissance, même pour les spécialistes. Une représentation graphique permet de saisir très rapidement les principaux aspects du problème.

L'introduction d'un ou plusieurs niveaux "condition" entre les niveaux "cause" et "effet" permet d'explicitier la nature de la relation cause-effet exprimée dans les matrices d'évaluation d'impact. Ces niveaux "condition" facilitent de beaucoup la compréhension de la représentation graphique. Evidemment le nombre de niveaux condition doit être limité pour ne pas surcharger le schéma, aussi y a-t-il, comme pour les matrices d'évaluation des impacts, un texte accompagnant le schéma et ayant pour but d'explicitier encore davantage la nature des relations entre les composantes de l'environnement et l'activité de l'homme.

Suffisamment souples pour permettre l'addition de plusieurs niveaux "condition", les graphes de cohérence sont aussi assez structurés pour représenter les relations inter-niveaux sous forme matricielle, ce qui est un immense avantage car souvent les graphes sont à l'image de la réalité qu'ils veulent représenter, c'est-à-dire d'une grande complexité. En effet les matrices inter-niveaux simplifient beaucoup la représentation graphique car nous n'utilisons que des matrices bidimensionnelles, chacune de ces matrices représentant deux à deux les niveaux du graphe de cohérence. Cette représentation matricielle est rendue possible par la cohérence des éléments contenus à l'intérieur de chacun des niveaux de cause, condition ou effet.

Jusqu'à ce jour, peu d'efforts ont été faits pour définir les relations existant entre l'écologie, l'économie et la sociologie qui sont en fait trois composantes étroitement liées de l'environnement. Les graphes de cohérence nous offrent aussi la possibilité de mettre les uns près des autres, dans le même plan ou dans des plans différents à l'intérieur d'un même graphe, les facteurs écologiques et économiques et de représenter schématiquement le réseau de relations existant entre ces facteurs.

La prochaine étape à franchir dans le développement des graphes de cohérence comme méthodologie d'évaluation d'impact sera l'utilisation de l'ordinateur. En général, les possibilités de l'ordinateur sont immenses pour les procédures d'évaluation d'impact. La grande vitesse d'exécution de l'ordinateur permet de traiter beaucoup plus de données avec une très grande précision et d'améliorer ainsi les performances d'une procédure d'évaluation d'impact. Pour le graphe de cohé-

rence, l'ordinateur sera particulièrement utile pour pondérer l'importance des éléments des différents niveaux pour ensuite quantifier les liens reliant les éléments des différents niveaux. En effet, il n'existe actuellement aucune technique pour évaluer l'importance des liens inter-niveaux, si bien que la méthode des approximations, que l'ordinateur utilise très bien en raison de sa grande vitesse d'exécution, demeure encore la meilleure solution.

CHAPITRE 2. CONSTRUCTION ET OPERATION D'UN SUPERPORT SUR LE ST-LAURENT

2.1 Localisation

Plusieurs sites ont été proposés pour la localisation d'un port pour super-pétroliers. En voici dix où on pourrait l'aménager avec plus ou moins de succès: l'Ile Verte et Grande Ile de Kamouraska, sur la rive sud; St-Irénée, Port-au-Saumon, les Escoumains, Godbout, Ilets Caribou, Baie Ste-Marguerite, Sept-Iles, sur la rive nord; l'Ile au Lièvre.

Ces sites ne possèdent évidemment pas toutes les caractéristiques idéales pour l'emplacement d'un superport. C'est pourquoi il faut essayer d'évaluer le potentiel de chacun comme emplacement d'un superport. Les critères d'évaluation peuvent être d'ordre socio-économique, biologique ou physique. Etant donné que nous avons traité de l'aspect écologique du projet sans nous préoccuper du socio-économique, nous nous limiterons à énumérer certains critères d'évaluation des caractéristiques physiques et biologiques des différents sites.

Ces critères, qui sont définis en fonction de la sécurité de navigation ainsi qu'en fonction des conséquences que pourraient avoir des déversements de pétrole, sont les suivants: profondeur, accessibilité du port, dégagement amont et aval, aire d'évolution, courants, vents, glace, proximité de la voie maritime, considérations écologiques, possibilités de limiter les dégâts. Ces critères désavantagent la rive sud en raison des difficultés d'accessibilité, des courants et des considérations écologiques, quoiqu'il existe déjà à Gros-Cacouna, près du site de Grande Ile, des installations portuaires. La cargaison des pétroliers

représente cependant beaucoup plus de risques pour l'environnement que la plupart des marchandises sèches qui sont manipulées au port de Gros-Cacouna. Sur la rive nord, les sites en amont de l'embouchure du Saguenay, ainsi que les Escoumains, menacent l'écologie aquatique de l'estuaire.

2.2 Construction d'un superport

La construction d'un superport exige la mise en place d'une infrastructure très complexe qui ressemble beaucoup à l'infrastructure d'un port destiné à accueillir des navires réguliers. Les immenses pétroliers qui fréquentent maintenant régulièrement les ports exigent des installations portuaires de plus en plus grandes et robustes. De plus, le triple rôle d'un port pétrolier de recevoir, de stocker et d'expédier des quantités énormes de pétrole exige une planification qui doit être secondée par des structures suffisantes, sûres et appropriées. La construction de chacune des structures et facilités du port exige l'exécution de divers types de travaux qui peuvent avoir des effets sur l'environnement.

La construction d'un superport exige des travaux qui peuvent s'échelonner sur plusieurs années. Des travaux d'une telle envergure exigent l'établissement d'un horaire de travail qui tienne compte de toutes les contraintes qui pourraient entraver la bonne marche des travaux. Les conditions climatiques et la protection de l'environnement sont quelques unes des contraintes qui pourraient retarder les travaux.

Les travaux de construction d'un superport peuvent se classer en trois étapes principales: construction des structures et facilités terrestres, construction des structures aquatiques et dragage du chenal.

Les principales structures et facilités terrestres comprendront surtout le parc de réservoirs pour le stockage du pétrole, les bâtiments pour l'entreposage du matériel et les routes. Leur construction ne devrait pas normalement rencontrer de difficultés majeures étant donné que les travaux se déroulent sur la terre ferme. Il n'en est pas de même pour les structures aquatiques car dans l'eau le contrôle de l'homme sur les éléments est moins grand et la construction de structures telles que le quai ou la jetée en sera d'autant retardée. Pour construire la jetée, par exemple, il faut attendre la disparition des glaces. Il faudra tenir compte de ces contraintes dans l'élaboration de la cédule de construction. Le dragage lui aussi ne peut se faire qu'en certaines périodes de l'année.

Toutes les actions posées par l'homme pour la construction du superport auront un effet plus ou moins grand sur l'environnement. Il faudra veiller à ce que toutes les précautions soient prises pour que les effets sur l'environnement soient aussi minimes que possible (Couillard et Roy, 1973).

2.3 Opération d'un superport

Les principales opérations qui devront être menées à bien pendant l'exploitation du superport sont à quelques différences près les mêmes que pour l'exploitation d'un port accueillant des navires réguliers.

La première opération consiste à amener le pétrolier jusqu'au port, opération qui n'est pas toujours très facile surtout lorsque la visibilité n'est pas très bonne ou lorsqu'il y a des glaces sur le fleuve. Il y a aussi les possibilités de collision avec d'autres navires ou

d'échouage. Le succès de cette opération dépendra de l'efficacité du système de guidage des pétroliers, de l'entretien de la voie maritime (dragage) et de bien d'autres facteurs tels que l'erreur humaine ou l'entretien des pétroliers circulant sur le fleuve.

L'accostage des mastodontes que sont les superpétroliers exige beaucoup de précautions. Chargés, ces navires pèsent des milliers de tonnes et possèdent une très grande inertie. Dans ces conditions, une collision avec le quai impliquerait le transfert d'une énorme quantité d'énergie qui pourrait facilement endommager le quai: La façon dont sera construit le quai, sa direction par rapport au courant, l'état de la mer sont tous des facteurs qui pourront favoriser ou compromettre la réussite de l'accostage.

Une fois accosté, le navire est prêt à décharger sa cargaison sur la terre ferme. Le transfert se fait en reliant le navire au quai par un bras flexible capable de suivre le mouvement vertical du navire accosté. L'huile est pompée du navire sur le quai et est ensuite acheminée par un pipeline jusque dans les réservoirs de stockage.

L'huile est conservée dans ces réservoirs jusqu'au moment où elle est acheminée par pipeline vers un centre urbain. La capacité totale du parc de réservoirs est telle que le pipeline puisse fonctionner continuellement.

Les pétroliers sont une source très importante de pollution par l'huile. Les principales sources de pollution sont les suivantes: déversement pendant le transbordement, décharge des eaux de ballast contaminées par l'huile, échouage ou collision, décharge des effluents de

l'usine de traitement des eaux de ballast contaminées par l'huile
(Porricelli, Keith et Storch, 1971).

Une pollution chronique pourrait résulter de l'opération du super-
port mais elle pourrait être réduite par une surveillance adéquate.

CHAPITRE 3. EVALUATION PAR LE GRAPHE DE COHERENCE DE

L'IMPACT D'UN SUPERPORT SUR LE ST-LAURENT

La figure 2 reproduit le graphe des impacts de la construction et de l'opération d'un port pour super pétroliers.

3.1 Définition de chacun des éléments du graphe: causes, conditions, effets

Niveau I

Bâtiments et facilités:

Ce terme comprend tous les bâtiments et autres structures nécessaires pour l'opération d'un superport. Ceci inclut les structures aquatiques telles que le quai et la jetée, les structures terrestres telles que les réservoirs, le pipeline et tous les autres bâtiments d'entreposage.

Circulation maritime:

Circulation des navires, aussi bien les navires commerciaux que les bateaux de pêche et de plaisance.

Concentration d'individus:

Les gens qui travailleront à l'opération et plus particulièrement à la construction du port ne seront pas nécessairement de la région. La construction du port, en particulier, exigera, pour certains travaux, une main d'oeuvre spécialisée qu'on devra faire venir de l'extérieur. La venue d'ouvriers n'habitant pas déjà la région résultera en une concentration d'individus localisés surtout au voisinage de l'emplacement du port en construction.

GRAPHE DES IMPACTS DE LA CONSTRUCTION D'UN PORT

(CONSTRUCTION ET EXPLOITATION)

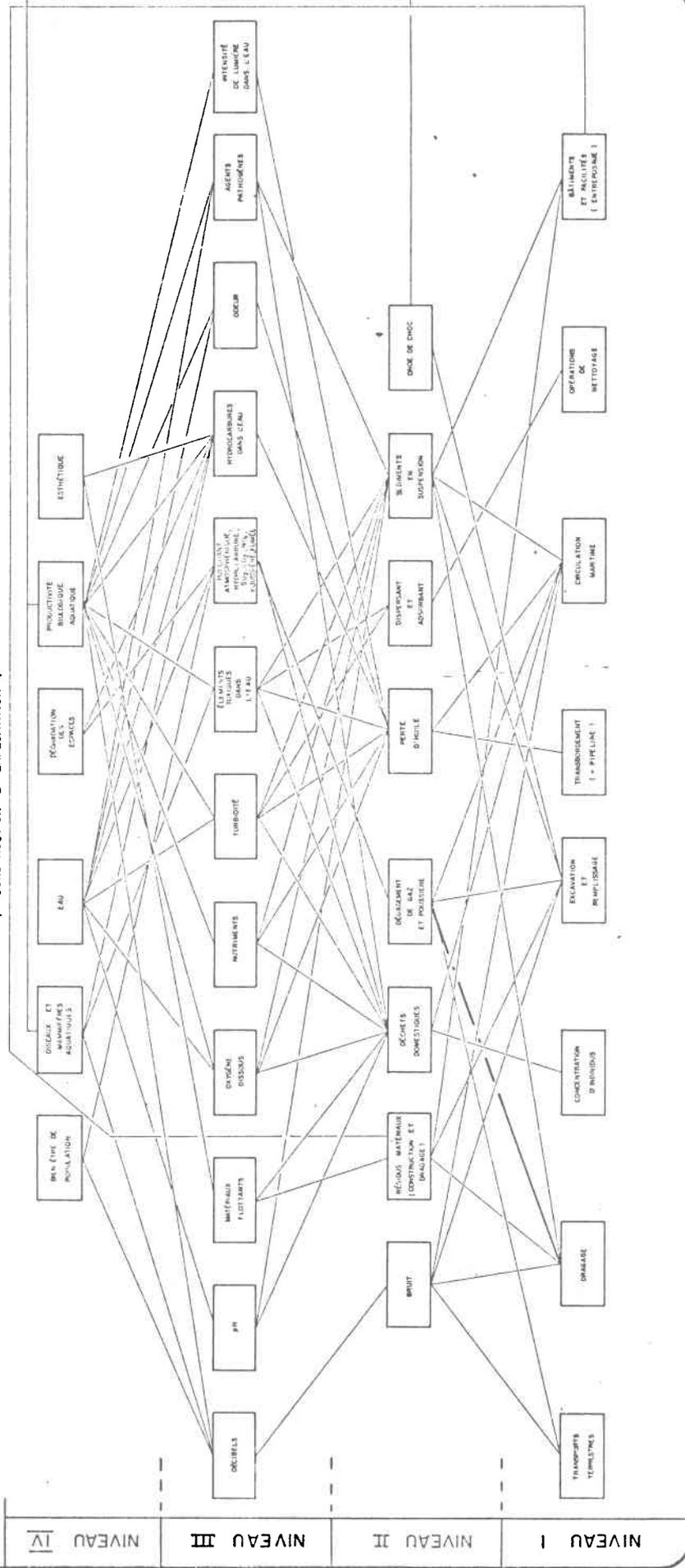


Figure 2

Dragage:

C'est l'opération qui consiste à extraire des sédiments du lit d'un cours d'eau, pour augmenter la profondeur, et ainsi permettre la circulation de navires d'un plus fort tirant d'eau.

Excavation et remplissage:

Les structures du port sont susceptibles d'être soumises à des forces extérieures importantes (vent, vagues), d'où la nécessité de bien les ancrer dans le sol en leur donnant de bonnes fondations. Généralement, il est nécessaire de creuser le sol pour y enfouir suffisamment les fondations, c'est l'opération qu'on nomme excavation. Pour la construction d'un port, on exécute cette opération sur la terre ferme pour les fondations des bâtiments et sur le rivage pour la construction du quai.

Opération de nettoyage:

Ce sont des actions entreprises par les autorités responsables, ayant pour but de récupérer (procédés mécaniques, absorbants), de détruire (combustion) ou d'accélérer (dispersants) la dégradation de l'huile déversée dans le milieu aquatique.

Transbordement (huile):

Ce terme inclus toutes les opérations nécessaires pour acheminer le pétrole des citernes du navire jusqu'au réservoir de stockage terrestre.

Transports terrestres:

L'acheminement des matériaux de construction jusqu'aux chantiers, le transport des matériaux résultant de l'excavation et les autres opéra-

tions associées à la construction impliqueront une grande circulation de véhicules motorisés.

Lorsque le port sera en opération, l'utilisation des transports terrestres, et plus particulièrement des camions, sera beaucoup plus réduite car le transport du pétrole jusqu'aux grandes villes canadiennes se fera par pipeline. A ce moment-là, l'augmentation de la circulation des véhicules terrestres causée par la présence du port pétrolier sera minime.

Niveau II

Bruit:

C'est surtout pendant la période de construction que se manifestera le bruit sur le site du port. Ces bruits seront surtout associés au fonctionnement de la machinerie lourde. L'opération du port occasionnera aussi certains bruits, mais l'intensité en sera beaucoup moindre et ne devrait pas dépasser celle existant lors de l'opération d'un port dans une autre ville.

Déchets domestiques:

Substances associées au maintien des fonctions biologiques d'un corps animal ou au maintien d'un niveau de vie. Ce sont en grande partie des matières fécales et des déchets de cuisine.

Dégagement de gaz et de poussière:

Emission dans l'atmosphère de gaz ou de particules solides pouvant affecter la qualité de l'air.

Onde de choc:

Onde associée à la déflagration d'un explosif dans l'eau et transportant l'énergie dégagée par l'explosion.

Perte d'huile:

Déversement pouvant varier de quelques gallons lors du débordement d'un réservoir au moment du transfert de l'huile sur terre à plusieurs milliers de barils lors d'un échouement ou d'une collision.

Dispersants et absorbants:

Parmi les divers produits utilisés pour combattre les effets des déversements d'huile dans l'eau, certains ont un mode d'action chimique tel que les dispersants, d'autres ont un mode d'action physique tel que les absorbants.

Les dispersants agissent en modifiant la tension superficielle de l'huile, permettant ainsi la dispersion de l'huile en gouttelettes de 0.5 à 10 microns. Ainsi disposée en fines particules, l'huile est plus dommageable pour les animaux marins, particulièrement le zooplancton. Les dispersants peuvent être anioniques, cationiques ou ioniques, ces derniers étant les plus efficaces en eau salée. Les dispersants agissent en trois étapes: contact "huile-dispersant" par l'action d'un support organique qui sera très efficace pour cette tâche ou d'un composé paraffinique; deuxièmement l'huile est dispersée dans la colonne d'eau, en grande partie grâce à l'énergie mécanique de l'eau; finalement, le rapport surface/volume des dispersants dans l'eau étant augmenté, les processus de biodégradation peuvent agir beaucoup plus rapidement sur l'huile.

D'une façon générale, on peut dire qu'un tiers des hydrocarbures est

transformé en cellules bactériennes et deux tiers sont oxydés en dioxyde de carbone et en eau. La réalité est cependant beaucoup plus complexe, car le processus de détérioration des hydrocarbures fait intervenir des phénomènes tels que l'absorption par les organismes et l'adsorption par les sédiments, particulièrement les argiles. L'efficacité des dispersants varie beaucoup selon leur composition chimique, leur mode d'application, les conditions de la mer car le mélange mécanique est très important, la température de l'eau, la nature de l'huile. Ils seront, par exemple, plus efficaces en eau chaude là où les conditions de mélange sont bonnes et sur une huile pas trop visqueuse. Ces produits, dont le mode d'action est chimique, ont le grand avantage sur les absorbants d'éliminer la difficile opération de la récupération.

Cependant, le mode d'action physique des absorbants permet de séparer l'huile de l'eau sans libérer des éléments toxiques. Dans certaines situations, cette absence d'éléments toxiques peut être un facteur déterminant dans le choix du produit de nettoyage. Les meilleurs absorbants peuvent être d'origine naturelle ou artificielle, de nature organique ou inorganique. La tourbe et la paille sont les plus efficaces puisque le poids d'huile absorbée peut atteindre de 5 à 40 fois le poids de l'absorbant. Quant aux matériaux artificiels tels que le polyuréthane et le polyéthylène, ils absorbent de 5 à 10 fois leur poids d'huile (Report to the Department of Transportation, 1969).

Résidus de matériaux:

Ces résidus seront principalement des matériaux de construction abandonnés aussi bien sur terre que dans l'eau. Les quantités de ces matériaux abandonnés sur le terrain varieront avec leur valeur marchande; ainsi on peut facilement prévoir qu'il y aura plus de bois que d'acier..

Certains résidus pourraient également résulter de l'opération du port pétrolier. Par exemple, le nettoyage des réservoirs pour le stocka-

ge d'huile produit de grandes quantités de résidus huileux dont il est difficile de se débarrasser autrement qu'en les brûlant.

Sédiments en suspension:

Substances solides sous forme particulaire d'origine organique ou inorganique.

Niveau III

Agents pathogènes:

Agents pathogènes propres tels que les microbes, les virus et les parasites.

Décibels (Nombre de):

Nous nous servons de cette unité d'intensité de bruit pour essayer d'évaluer l'impact du bruit sur l'environnement.

Éléments toxiques dans l'eau:

C'est un terme très général dans lequel nous voulons inclure tous les toxiques pouvant être amenés dans le milieu lors de la construction ou de l'opération d'un superport et qui pourraient être nuisibles à un organisme ou à un autre. Le fait que les toxiques ne sont pas les mêmes pour tous les organismes nous complique un peu la tâche et nous obligera à être plus précis dans la justification des effets.

Hydrocarbures dans l'eau:

"Les huiles brutes sont un mélange naturel complexe

d'hydrocarbures; elles contiennent, à l'état de trace, des métaux et des produits organiques à base d'oxygène, d'azote et de soufre. Les constituants majeurs sont les hydrocarbures saturés (C_{11} C_{45}) et les hydrocarbures aromatiques (benzène, toluène, xylène, etc.). Le soufre, généralement présent à l'état de trace y est associé à des produits organiques. Les métaux qu'on y retrouve, complexés à des produits cycliques, sont distribués dans les différentes huiles brutes selon les mécanismes de genèse et de migration qui y sont associés et de la géochimie des lieux d'origine. Le vanadium, le nickel, le cuivre, le chrome et le thorium sont les métaux traces généralement retrouvés dans les huiles brutes; le plomb, l'étain, le molybdène et le cobalt s'y retrouvent moins fréquemment." (Couillard, D. et al, 1973).

On a observé à plusieurs reprises, après un déversement d'huile, que les éléments chimiques contenus dans l'huile peuvent agir comme des stimulants pour la croissance de certaines plantes. Toutefois, on ne sait pas encore à quels éléments il faut attribuer cette stimulation. En effet, il semble que la quantité présente de macro-nutriments dans les huiles soit insuffisante pour être la cause de la stimulation de la croissance des plantes. Quant aux micro-nutriments, il est presque certain qu'ils ne sont pas la cause de cette croissance (American Petroleum Institute, 1971).

Matériaux flottants:

Toute substance flottant à la surface de l'eau. Ce peut être aussi bien du bois que des déchets organiques.

Nutriments:

Le phosphore, l'azote et le carbone sont les éléments qui contrôlent la production biologique du milieu aquatique.

Odeur:

Ce terme englobe non seulement les odeurs qui peuvent se propager dans l'air, mais aussi celles qui peuvent circuler dans le milieu aquatique et ainsi donner une odeur désagréable à l'eau.

Oxygène dissous:

C'est la quantité d'oxygène présente dans l'eau et qui est disponible pour la respiration des organismes.

pH:

C'est le paramètre qui exprime la concentration de l'ion Hydrogène. On l'exprime par le logarithme (base 10) de l'inverse de la concentration d'hydrogène.

Le pH pourrait être modifié localement pendant la construction et surtout pendant l'opération du port; cependant, le pH de l'eau de mer étant très stable à 8.2, il est peu probable qu'il varie suffisamment pour occasionner des effets appréciables sur la vie aquatique. Advenant le cas où il y aurait un changement important de pH, la vie aquatique peut s'adapter pendant un certain temps à des changements de pH élevés, pourvu qu'ils ne soient pas trop rapides.

Polluants atmosphériques: Hydrocarbures, SO₂, CO₂, NO_x, poussière et fumée

Toute substance gazeuse ou particulaire présente dans l'air risque d'endommager la qualité de l'air. Les principaux sont la poussière et les hydrocarbures, le dioxyde de carbone, les oxydes d'azote dégagés dans les fumées (Chovin et Roussel, 1973), l'hydrogène sulfuré (H₂S) et les mercaptans du parc des réservoirs.

Turbidité:

C'est une mesure de la réduction de l'intensité de la lumière passant à travers une eau chargée de particules.

Niveau IV

Bien-être d'une population:

Ensemble des facteurs qui font qu'une population jouit d'un état de santé physique et mental, social et économique satisfaisant.

Dégradation des espaces:

Les caractéristiques physiques d'un espace font qu'il se prête mieux à une utilisation donnée: c'est ce que l'on peut appeler la vocation d'un espace. Si ces caractéristiques qui déterminent la vocation d'un espace sont détériorées par une action humaine, il en résulte ce que l'on appelle une dégradation des espaces.

Eau:

L'eau du fleuve est utilisée généralement pour trois usages princi-

paux: municipal, industriel et récréatif. Dans la région à l'étude, la salinité de l'eau de fleuve en limite beaucoup l'usage municipal; il en est de même pour l'utilisation industrielle car la région est peu développée à ce point de vue. Par conséquent, nous nous concentrerons surtout sur l'usage récréatif qui peut prendre une valeur importante pour la population dans ces régions peu développées.

Esthétique:

Ensemble des éléments qui rendent quelque chose agréable à l'oeil. En ce qui nous concerne, nous considérerons surtout des paysages naturels perturbés par l'activité humaine.

Mammifères et oiseaux:

Nous voulons considérer principalement les oiseaux et les mammifères aquatiques car ce sera surtout sur la faune aquatique que se feront sentir les retombées écologiques du superport. Nous pouvons mentionner comme exemple les oiseaux migrateurs qui font escale sur les berges du fleuve pour s'y reposer et s'y nourrir.

Productivité biologique aquatique:

La productivité biologique est l'augmentation ou le maintien de la biomasse d'un milieu donné. A la base de la productivité biologique se trouve ce que l'on appelle les producteurs primaires qui sont capables de capter l'énergie lumineuse du soleil et de l'emmagasiner dans des liens chimiques en synthétisant de la matière organique à partir des nutriments présents dans le milieu; ils forment ainsi une biomasse végétale. Pour le milieu aquatique qui nous intéresse, nous définirons l'ensemble des plantes vas-

culaires avec ou sans racine vivant dans le milieu aquatique ou semi-aquatique, tandis que le phytoplancton comprendra les petits organismes (5mm) libres et passifs transportés au gré des courants et des marées, capables de faire de la production primaire.

La biomasse animale est constituée à partir de la biomasse végétale. En effet, les plantes, qui sont à l'origine de la production primaire, captent l'énergie solaire pour l'emmagasiner dans leurs cellules. La biomasse végétale ne constitue, en quelque sorte, qu'un réservoir d'énergie pour les herbivores, qui sont à leur tour, mangés par les carnivores. Nous incluons dans herbivores et carnivores tous les poissons vivant dans le milieu aquatique étudié et les autres organismes supérieurs de la chaîne alimentaire, toutes les espèces de zooplancton, tous les animaux pélagiques, c'est-à-dire tous les animaux autres que les poissons, oiseaux ou mammifères, nageurs libres mais non passifs.

3.2 Explication des liens entre les différents niveaux du graphe

Une représentation schématique de ces liens est donnée en annexe sous forme de matrices. Chacune de ces matrices représentent deux à deux les différents niveaux du graphe de cohérence.

Niveau I \longrightarrow Niveau II

I Bâtiments et facilités \longrightarrow II Résidus de matériaux
(solides)

Pendant la construction des bâtiments et des structures telles que le quai et la jetée, les hommes devront manipuler principalement du bois, du béton et de l'acier.

Il ne faudra pas jeter les surplus de ces produits dans l'eau et éviter qu'ils ne soient transportés par ruissellement. Il y aura sans doute peu de résidus d'acier, car son coût est élevé. Cependant, les résidus de bois peuvent causer des problèmes plus graves; par exemple, la sciure de bois est facilement entraînée par le vent. Le béton pourrait aussi causer des problèmes si on en déverse trop dans l'environnement (Couillard, D. et Roy, J. P., 1973).

I Bâtiments et facilités —————> II Sédiments en suspension

Les travaux de construction des bâtiments et facilités et plus particulièrement ceux qui nécessitent l'excavation du terrain et la circulation d'une machinerie lourde, détruiront beaucoup de végétation et mettront ainsi le sol à nu. Le sol sera alors beaucoup plus exposé à être entraîné par les eaux de ruissellement. Les particules de sol transportées dans l'eau contribueront à augmenter la quantité de sédiments en suspension dans l'eau.

I Circulation maritime —————> II Bruit

Le bruit de la circulation maritime sera sans doute causé principalement par le bruit des moteurs des navires. Ce n'est pas un bruit très intense, mais dépendant du nombre de navires qui fréquenteront le port, il peut être assez constant. Cependant, ce bruit existe déjà, à un certain degré, en raison de la présence de la voie maritime du St-Laurent.

I Circulation maritime —————> II Déchets domestiques

L'entretien d'un équipage sur un navire produit l'accumulation de

déchets domestiques et de cuisine dont on se débarrasse le plus souvent de la façon la moins dispenseuse, c'est-à-dire en les jetant à l'eau.

I Circulation maritime —————> II Dégagement de gaz et poussière

Les bateaux conventionnels sont généralement propulsés par des moteurs à combustion interne qui dégagent dans l'atmosphère des gaz qui peuvent être nocifs à court ou long terme si leur concentration est suffisamment élevée. Quant aux superpétroliers leurs moteurs sont surtout des turbines à vapeur.

Les moteurs à combustion interne sont généralement du type diesel (allumage par compression) dont les principales émissions sont des hydrocarbures imbrûlés, des produits d'oxydation partielle et des particules solides. Ils libèrent aussi en quantités moindres des oxydes de soufre et d'azote (Chovin et Roussel, 1973).

I Circulation maritime —————> II Perte d'huile

Tout navire circulant sur une surface d'eau laisse derrière lui une traînée d'huile qui peut être due au fonctionnement de ses moteurs et/ou à une fuite de ses réservoirs si c'est un pétrolier.

I Circulation maritime —————> II Sédiments en suspension

La circulation de navires provoque un déplacement de masses importantes d'eau qui peuvent remettre des sédiments en suspension. Ces sédiments peuvent être localisés soit sur le lit de la voie navigable et dans ce cas la quantité de sédiments mis en suspension dépend de la distance entre la coque des navires et le lit du cours d'eau, soit sur les rivages où l'effet de remise en suspension est semblable à celui des marées et des vents.

I Concentration d'individus —————> II Déchets domestiques

Une concentration d'individus produit un certain volume de déchets domes-

tiques, volume plus ou moins grand selon les habitudes de vie et le nombre d'individus. Pour des hommes vivant sur un chantier de construction, la masse de déchets domestiques est assez grande et il est important que les installations sanitaires et de disposition des déchets soient adéquates. Une partie des déchets est de nature inorganique mais la majeure partie est organique et par conséquent biodégradable.

Mais après la période de construction, il faut prévoir une augmentation de la population, donc une augmentation de la pollution domestique. En effet, la présence du port incitera beaucoup de gens à s'installer à proximité des installations portuaires et dans les environs.

I Dragage → II Bruit

Les opérations de dragage nécessitent l'utilisation d'engins mécaniques dont le bruit pourrait ennuyer aussi bien les animaux aquatiques que les humains habitant sur le rivage. L'impact de ce bruit résulterait de sa continuité plutôt que de son intensité et devrait surtout se manifester sur les populations aquatiques qui ont cependant été soumises depuis quelques années aux bruits associés à la circulation de la voie maritime du St-Laurent. C'est pourquoi ce lien aura des conséquences modérées sur l'environnement.

I Dragage → Dégagement de gaz

Le fonctionnement des engins utilisés pour le dragage occasionne la production de gaz nuisible associés au fonctionnement des moteurs à combustion, tels que le dioxyde de soufre et le monoxyde de carbone.

I Dragage —————> II Résidus de matériaux

Les sédiments déplacés pour augmenter la profondeur du chenal seront soit accumulés sur le rivage, soit rejetés dans l'eau en un endroit où ils ne risquent pas de nuire à la navigation. Sur la voie maritime du St-Laurent, la coutume est de rejeter les boues de dragage dans l'eau et c'est probablement ce qui se passera dans le cas qui nous intéresse.

I Dragage —————> II Sédiments en suspension

Le dragage a pour effet de mettre en suspension des sédiments qui peuvent être soit de nature organique, soit inorganique. La quantité de sédiments mis en suspension par le dragage peut varier beaucoup selon le mode d'opération. Par exemple, il est certain que si l'on rejette les boues de dragage dans l'eau en un endroit où elles ne nuiront pas à la navigation, il y aura beaucoup plus de particules en suspension que si l'on dispose des boues de dragage en les accumulant sur la terre ferme.

I Excavation et remplissage —————> II Bruit

Les engins mécaniques utilisés pour les opérations d'excavation et de remplissage sont dotés de puissants moteurs qui ont aussi la caractéristique de faire beaucoup de bruit.

Dans certains cas la puissance mécanique n'est pas suffisante et il faut alors faire appel aux explosifs. Dans ce cas les bruits produits sont beaucoup plus intenses mais ils sont instantanés contrairement au bruit de la machinerie qui est presque continu.

I Excavation et Remplissage —————> II Dégagement de gaz et de poussières

L'utilisation d'équipement mécanique pour l'excavation et le remplissage résultera en l'émission de gaz par les engins diesel et à gazoline.

La manipulation de matériaux tels que la terre et le roc mettra de la poussière en suspension dans l'atmosphère.

I Excavation et Remplissage —————> II Onde de choc

L'excavation de certains matériaux est très difficile et il faut alors utiliser des explosifs. Mais l'utilisation d'explosifs dans l'eau produit des ondes de choc dont la distance de propagation est d'autant plus grande que l'explosion est puissante.

I Excavation et Remplissage —————> II Résidus de matériaux

L'excavation faite pour la construction des fondations des bâtiments produira des résidus de terre et de roc qui, s'ils ne sont pas utilisés pour le remplissage, devront être accumulés en certains endroits.

I Excavation et Remplissage —————> II Sédiments en suspension

L'excavation ou le remplissage près du rivage, pour l'installation du quai et de la jetée, mettront beaucoup de sédiments en suspension dans l'eau qui sédimenteront rapidement sur le fond étant donné la faible profondeur. Cependant, s'il y a un courant près du rivage, ces sédiments seront entraînés dans le courant.

I Opération de nettoyage → II Dispersants et absorbants

Des moyens mécaniques tels que des pompes ou des séparateurs eau-huile peuvent être utilisés pour récupérer une nappe d'huile flottant sur l'eau, mais leur rendement est très faible en présence de courants et de marées importants. Cependant, si la propagation de l'huile à la surface de l'eau peut être contrôlée, les absorbants permettent de récupérer d'une façon beaucoup plus satisfaisante l'huile déversée dans l'eau (Couillard et Roy, 1973). Lorsqu'il est impossible de limiter la propagation de l'huile à la surface de l'eau, et que sa récupération est impossible en raison des conditions de la mer, il faut alors considérer la possibilité de traiter la nappe d'huile avant qu'elle ne cause trop de dommages. Les dispersants peuvent alors être utilisés dans ce but (Report to the Department of Transportation, 1969).

I Transbordement (d'huile) → Perte d'huile

Environ 70,000 tonnes métriques d'huile sont introduites chaque année dans les océans par suite des opérations de transbordement, ce qui représente 5% de l'huile déversée dans les océans par les pétroliers, c'est-à-dire 5.8 barils par navire (Porricelli, Keith et Storch, 1971).

Il est très difficile d'éliminer complètement les pertes d'huile pendant les opérations de transbordement. Souvent les mauvaises conditions de la mer causent des bris d'équipement qui peuvent occasionner des pertes importantes d'huile dans l'eau.

I Transports terrestres —————> II Bruit

Le bruit associé aux transports terrestres proviendra surtout de l'utilisation de la machinerie lourde pendant la période de construction. En effet, l'acheminement des matériaux jusqu'aux chantiers ainsi que les travaux d'excavation nécessiteront l'utilisation de lourds camions qui circuleront presque continuellement sur les routes.

Au fur et à mesure que se termineront les différentes phases de la construction du port, le bruit diminuera pour finalement atteindre pendant l'opération du port, une intensité semblable à celle du bruit associé à l'activité d'une ville.

I Transports terrestres —————> II Dégagement de gaz et de poussières

Les camions utilisés pour le transport sont mus par des moteurs à combustion interne diesel ou à gazoline qui dégagent des gaz dans l'atmosphère. Cette augmentation de la concentration de certains gaz indésirables dans l'air se manifesterait surtout pendant la période de construction. Cependant, étant donné le faible taux actuel de pollution atmosphérique dans la région en question, il est fort improbable que cela devienne un inconvénient majeur même pendant la construction. En effet, des masses d'air pur auront tôt fait de remplacer l'air vicié, ou du moins d'en diluer les effets.

Niveau I —————> Niveau IV

I Bâtiments et facilités —————> IV Esthétique

La présence des quais et des jetées ne devrait pas nuire à l'esthétique de l'environnement en autant que ces structures soient d'une

propreté impeccable. C'est surtout pendant la construction de ces structures et des bâtiments qu'il pourrait y avoir des abus affectant les environs immédiats des chantiers de construction. Ceci sera évité en prévoyant des modalités de construction qui n'affecteront pas les environs immédiats des chantiers de construction, sauvegardant ainsi l'aspect esthétique (Couillard et Roy, 1973).

Le parc de réservoirs, par exemple, sera un élément important pour l'aspect esthétique du port car il couvrira une assez grande superficie et sera visible de loin. On devra donc en tenir compte dans le choix de la localisation de ce parc de réservoirs et également lors de la construction et de l'opération du port.

Niveau II → Niveau III

II Bruit → III Décibels

Lorsqu'un bruit se propage dans l'air, il émet un certain nombre de décibels qui sont susceptibles d'être perçus par l'ouïe des animaux. Ces décibels, qui ne sont en fait qu'une unité de mesure, permettent de quantifier l'intensité du bruit.

II Déchets domestiques → III Agents pathogènes

Si l'organisme de l'homme est infesté par des parasites, ses déchets d'origine fécale contiendront des oeufs de ces parasites qui se développeront dans le milieu naturel. Après avoir atteint un certain stage de développement, ces parasites pourront se déplacer dans le milieu pour aller infester d'autres organismes.

II Déchets domestiques —————> III Eléments toxiques dans l'eau

Les toxiques les plus susceptibles d'être présents dans les déchets domestiques sont: l'ammoniaque, les phénols monohydriques, le zinc, le cuivre et le cyanure libre.

II Déchets domestiques —————> III Matériaux flottants

Les matériaux flottants constituant généralement les rejets domestiques comprennent les rejets d'égout (papier, aliments, etc) et les ordures ménagères. Ces matériaux suivront le fil du courant et s'éloigneront assez rapidement s'ils sont rejetés dans l'eau en un endroit où le courant peut les prendre en charge pour les transporter au loin, sinon ils pourraient bien s'accumuler dans de petites baies ou en des endroits où le courant ne peut les transporter.

II Déchets domestiques —————> III Nutriments

Les déchets domestiques et plus particulièrement ceux d'origine fécale sont très riches en nutriments (C, N, P) et contribuent à enrichir le milieu aquatique d'une façon très significative, bouleversant même parfois l'équilibre naturel existant entre les plantes aquatiques et leurs ressources nutritives.

II Déchets domestiques —————> III Oxygène dissous

Les déchets domestiques viendront de la concentration d'individus affectés aux travaux pendant la construction du superport et des navires pendant l'opération du superport. Ces déchets seront surtout d'origine organique et biodégradables. Ils consommeront l'oxygène dissous

dans l'eau. La quantité d'oxygène dissous consommée par la biodégradation varie selon les auteurs. Par exemple, selon Thomann (1972), la DBO_5 des égouts sanitaires peut varier de 100 à 450 mg/l. avec une moyenne de 180 mg/l.. Alors que pour Mascolo et al (1972), la DBO_5 varie de 74 à 123 mg/l. avec une valeur moyenne de 104 mg/l.

II Déchets domestiques → III pH

Les déchets domestiques peuvent provoquer de légers changements de pH. En effet, selon Mascolo et al (1972), les égouts urbains sanitaires ont en moyenne un pH de 7.29 (avec des extrêmes de 7.0 et 7.85), ce qui est un peu plus bas que le pH naturel. Cependant, la gamme de variations reste à l'intérieur des limites pour lesquelles on observait des effets sur le milieu naturel. Ainsi, Ellis (1937) rapporte que, pour ce qui concerne les variations, les valeurs de pH de la plupart des eaux intérieures contenant du poisson varient entre 6.7 et 8.6 avec des extrêmes de 6.3 et 9.0 et il en est de même pour beaucoup d'organismes aquatiques qui peuvent aussi supporter des variations de pH à condition que le changement ne soit pas trop rapide.

II Déchets domestiques → III Polluants atmosphériques: Hydrocarbures
 SO_2 , CO_2 , NO_x , poussière, fumée

L'activité humaine engendre la pollution de l'air par le chauffage et la circulation automobile qui dégagent des gaz dans l'atmosphère.

II Déchets domestiques → III Turbidité

On retrouve sur le fond des cours d'eau où l'on jette des déchets sanitaires, des dépôts de boue qui nuisent surtout aux invertébrés. Mais avant de sédimenter sur le lit du cours d'eau, ces dépôts ont contribué à augmenter la turbidité de l'eau.

II Dégagement de gaz et de poussières → III Polluants atmosphériques:
Hydrocarbures, SO₂, CO₂, NO_x,
poussière, fumée

Les gaz qui se dégagent de la combustion de carburants fossiles ou encore la poussière qui résulte des opérations d'excavation et remplissage ou des activités des transports terrestres polluent l'atmosphère.

Par exemple, pour chaque 1,000 gallons de gazoline brûlés par les automobiles, 3,000 livres de monoxyde de carbone sont déchargés dans l'air ainsi que 200 à 400 livres d'hydrocarbures et 50 à 150 livres d'oxydes d'azote, plus une certaine quantité d'aldéhydes, de composés sulfureux, d'acides organiques, d'ammoniaque, de plomb et d'autres oxydes métalliques (Chovin, 1973).

II Perte d'huile → III Eléments toxiques dans l'eau

L'huile est sans doute l'une des substances non naturelles les plus destructives entrant dans les eaux. L'huile est un mélange complexe de composés chimiques qui varie beaucoup dépendant de son origine. Ces substances sont plus ou moins toxiques. Ce sont principalement des hydrocarbures aromatiques tels le benzène, le toluène, les phénols, etc... (Couillard et Roy, 1973).

II Perte d'huile → III Hydrocarbures dans l'eau

Une perte d'huile dans l'eau augmente la concentration d'hydrocarbures dans celle-ci. Une perte d'huile peut aussi se produire sur le sol qui est alors imbibé de pétrole.

II Perte d'huile → III Intensité de lumière dans l'eau

Une couche d'huile à la surface de l'eau atténuera la quantité et la qualité de lumière qui pénètre dans l'eau.

II Perte d'huile → III Nutriments

La présence d'huile en certaines concentrations peut stimuler la croissance de quelques plantes; ce phénomène a été observé fréquemment. On l'attribue à la présence dans l'huile de certains nutriments. La figure 3 (American Petroleum Institute, 1971) montre les effets d'une émulsion d'huile sur la production primaire d'algues planctoniques.

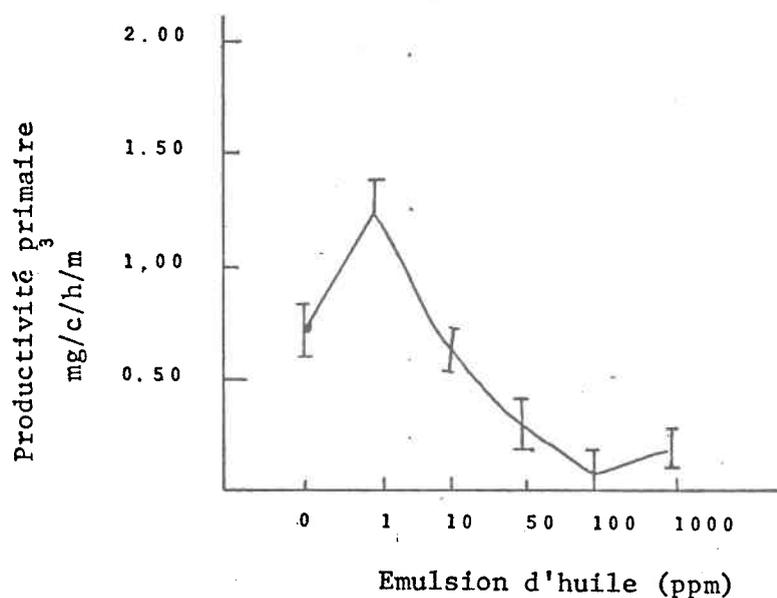


Figure 3: Productivité primaire vs émulsion d'huile

Les nutriments présents dans l'huile sont des macro-nutriments et des micro-nutriments essentiels. L'huile peut contenir aussi des éléments non essentiels qui agissent comme stimulant tels que le cobalt, le nickel, le titane, etc. (American Petroleum Institute, 1971).

II Perte d'huile —————> III Odeur

L'huile dans l'eau donne une odeur à celle-ci qui peut devenir une odeur de moisi, lorsque l'effet de la dégradation biologique entre en action. L'odeur de l'huile dans l'eau n'a cependant aucunement besoin de la biodégradation pour rendre l'eau inutilisable à l'homme et aux animaux.

II Perte d'huile —————> III Oxygène dissous (dans l'eau)

Certains microorganismes utilisent les hydrocarbures sous forme d'émulsions comme une source d'énergie pour leur croissance. En eau profonde, le taux d'utilisation de l'huile par les microorganismes est limité par les faibles concentrations de nutriments tels que le phosphore et l'azote nécessaires pour la croissance des microorganismes. Dans les estuaires, cependant, ces nutriments sont en plus grandes concentrations et ainsi facilitent la croissance des microorganismes, donc accélèrent la dégradation de l'huile. A ce moment, l'effet combiné de la diminution de l'activité photosynthétique (en raison de la couche d'huile à la surface de l'eau) et de l'utilisation excessive des réserves d'oxygènes dissous peut dans certains cas abaisser la concentration d'oxygène dissous à un niveau critique. Cependant le fort taux de réaération associé à l'importance des masses d'eau dans le fleuve minimise considérablement l'effet de la dégradation du pétrole sur l'oxygène dissous.

L'oxydation bactérienne est contrôlée surtout par les quantités d'azote et de phosphore dont le renouvellement des réserves est généralement moins rapide que pour l'oxygène. Une livre d'azote chimiquement liée est nécessaire pour la consommation de 120 lbs d'oxygène, alors qu'une livre de phosphore est nécessaire pour 600 lbs d'oxygène.

II Perte d'huile —————> III Turbidité

La majeure partie des nappes d'huile flottant sur l'eau n'est pas dégradée, mais déposée sur les rivages ou sur le lit des nappes d'eau. La boue huileuse qui en résulte peut, à l'occasion des crues, être remise en suspension.

De plus, l'huile dispersée en fines particules peut s'accumuler, par adsorption à la surface des particules en suspension dans l'eau (Couillard, D. et Roy, J. P., 1973).

II Dispersants et absorbants —————> III Eléments toxiques dans l'eau

La toxicité des produits chimiques dont on se sert pour combattre les déversements d'huile est aussi importante à considérer que leur efficacité. Par exemple, l'efficacité de plusieurs dispersants dépend de l'action solvante d'un transporteur organique qui amène le dispersant en contact avec l'huile. Les composés aromatiques en particulier sont efficaces dans ce rôle mais ils sont plus toxiques que les paraffines par exemple. Le Dr. Cerame-Vivas (1968), examinant les dispersants utilisés lors de l'échouage du "Ocean Eagle" à Puerto Rico en mars 1968, recommanda que leur utilisation soit arrêtée en raison de leur trop grande toxicité. Une revue de littérature faite par Batelle (1967) décrit les effets biologiques de tous les dispersants comme étant similaires.

Selon cette étude, des concentrations de 5 à 10 ppm causent la mort des organismes aquatiques. Cependant des recherches plus récentes ont permis de développer des dispersants, tel que le "COREXIT", non toxique pour des concentrations de 5 à 10 ppm.

II Dispersants absorbants → III Turbidité

Beaucoup d'absorbants sont sous forme de fines particules et contribuent ainsi à augmenter la turbidité du milieu aquatique. En effet, lorsque les absorbants sont déversés sur une nappe d'huile flottant sur la surface de l'eau, il n'est généralement pas possible de récupérer complètement l'absorbant lorsqu'il est imbibé d'huile. La quantité d'absorbant qui reste sur la surface de l'eau perd peu à peu de sa flottabilité et finit par sédimenter.

Les agents de sédimentation, ont eux aussi, un effet sur la turbidité de l'eau. En effet, ils agissent sur certaines propriétés physiques de l'huile pour finalement provoquer sa sédimentation dont l'un des résultats est d'augmenter la turbidité de l'eau.

II Résidus de matériaux → III Matériaux flottants

Les résidus de matériaux flottants sur l'eau proviendront surtout des opérations de construction pour le quai, la jetée, etc. Ces résidus pourront être du papier provenant de l'emballage des matériaux de construction, du bois, etc.

II Sédiments en suspension → III pH

Lorsque des sédiments mis en suspension sédimenter en entraînant des particules organiques qui se décomposent sur le fond, il y a changement de pH.

Les sédiments du fond sont en équilibre avec le pH de l'eau et la remise en suspension ne doit pas modifier beaucoup le pH de l'eau.

II Sédiment en suspension → III Agents pathogènes

Un des effets importants du dragage est la remise en suspension de sédiments contenant des agents pathogènes. Ces organismes, qui sont remis en circulation dans le milieu aquatique, ont ainsi de plus grandes possibilités pour contaminer les organismes aquatiques.

II Sédiments en suspension → III Oxygène dissous

Les sédiments en suspension, s'ils sont d'origine organique et biodégradable, consomment une partie de l'oxygène dissous de l'eau.

II Sédiments en suspension → III Turbidité

Les sédiments mis en suspension dans l'eau augmentent la turbidité puisqu'ils augmentent la concentration des particules dans l'eau.

II Sédiments en suspension → III Eléments toxiques dans l'eau

La mise en suspension de sédiments dans l'eau peut avoir un effet sur le contenu en éléments toxiques du milieu aquatique. En effet, une certaine quantité d'éléments toxiques transportés dans l'eau sédimente sur le fond lorsque les conditions de courants sont favorables et constitue ainsi un réservoir d'éléments toxiques susceptibles d'être remis en circulation dans le milieu aquatique.

II Sédiments en suspension → III Nutriments

Le lien décrit précédemment (Sédiments en suspension → Eléments

toxiques) existe aussi entre les sédiments en suspension et les nutriments. Ce lien est expliqué par les mêmes raisons.

II Onde de choc → IV Mammifères aquatiques

L'onde de choc émise par une explosion dans l'eau peut affecter à différents degrés les animaux marins. Les belugas, par exemple, qui sont en voie d'extinction peuvent être affectés au moment des amours (Couillard, D. et Roy, J.P., 1973).

II Onde de choc → IV Productivité biologique aquatique

Parmi les animaux aquatiques, ce sont les poissons qui sont les plus sensibles aux ondes de choc. Il est facile de s'en rendre compte si on considère l'efficacité de la pêche à la dynamite qui peut vider un cours d'eau de tous ses poissons dans un rayon qui varie avec la puissance de l'explosion. Dans le cas où le poisson n'est pas tué, l'onde de choc l'incite à quitter les lieux.

Si l'on considère que le poisson est une étape très importante dans la chaîne alimentaire aquatique, cela nous donne une idée des conséquences que pourraient avoir les ondes de choc sur la productivité biologique aquatique.

II Résidus de matériaux (bois, béton, fer, boues de dragage)
 → IV Esthétique

Il est certain que pendant les travaux de construction et même peut-être après, l'aspect naturel du paysage sera modifié par les résidus de matériaux utilisés pendant la construction. Cet impact sera plus ou moins grand selon le soin qu'on prendra pour récupérer tous les

résidus et non pas seulement ceux qui peuvent avoir une valeur marchande assez élevée tels que l'acier.

Niveau III \longrightarrow Niveau IV

III Agents pathogènes \longrightarrow IV Eau

L'augmentation de la quantité d'agents pathogènes dans l'eau pourrait compromettre les possibilités d'utilisation de l'eau du fleuve pour la récréation et comme source d'eau potable, ces utilisations étant déjà limitées par la qualité actuelle de l'eau. En effet, l'ingestion par les baigneurs d'eau contaminée par les parasites, pourrait avoir de graves effets sur la santé des baigneurs. Des parasites plus dangereux encore peuvent passer à travers-la-peau pour s'introduire dans les organismes. Dans certains cas les eaux contaminées devront être interdites aux baigneurs.

III Agents pathogènes \longrightarrow IV Productivité biologique aquatique

Lorsque les parasites réussissent à contaminer un chaînon d'une chaîne alimentaire, ils ne tardent pas à s'introduire dans chacun des éléments du cycle. Considérons par exemple le ténia à poisson dont le nom indique bien que c'est un parasite de poisson, mais on le rencontre aussi chez l'homme. C'est le plus long parasite à infester l'homme puisqu'il peut atteindre une longueur de 60 pieds. En fait, le terme ténia à poisson indique seulement par quel chaînon ce parasite s'est introduit dans la chaîne alimentaire. Le cycle poisson-homme est complété par un petit crustacé d'une longueur d'environ 1/16 de pouce qui mange les embryons de ténia dans les excréments humains dans les lacs et les ruisseaux (Winchester, 1960). Cet exemple n'a permis de considérer que le cycle poisson-homme-crustacé; mais il en est de même pour les animaux tels que les mammifères et les oiseaux qui sont aussi exposés à la contamination par les parasites.

Ce ne sont pas tous les parasites qui sont nuisibles. certains parasites peuvent très bien vivre en symbiose avec un animal. Ce peut être le cas de parasites vivant dans l'homme, le poisson ou le benthos. Cependant le fait d'être parasités peut réduire la vitalité des organismes et ainsi diminuer leur résistance aux maladies et même provoquer la mort.

Les bactéries fécales sont un type de pollution qui provient surtout des déchets domestiques. Les coquillages, en particulier, ont la propriété de concentrer dans leurs tissus les virus et bactéries, incluant les pathogènes. Ils réduisent ainsi leur valeur commerciale.

III Décibels —————> IV Bien-être de population

Cet impact se manifestera surtout pendant la période de construction pendant laquelle on utilisera beaucoup de machinerie lourde très bruyante. Le bruit continu produit par le fonctionnement de ces machines risque d'avoir un effet néfaste sur des gens habitués à la tranquillité de la campagne. Cependant, ces bruits ne dureront que la période de construction. Il n'en est pas de même des bruits associés à l'opération du port qui seront présents de façon permanente. Ces derniers seront sans doute moins intenses que les bruits associés à la construction et ainsi, auront un effet moins marqué sur la population. L'intensité du bruit devrait se comparer à celui existant dans les autres ports du Québec (Québec, Montréal, Sept-Iles, etc.).

III Décibels → IV Mammifères aquatiques

III Décibels → IV Productivité biologique aquatique

Nous n'avons trouvé aucune étude faite sur le sujet. Cependant si nous comparons avec l'homme, nous pouvons dire qu'un bruit continu de certaines fréquences pourrait produire un "stress" sur ces animaux.

Par exemple, des poissons avec une territorialité très forte qui seraient obligés de changer de territoire à cause du bruit, en seraient très affectés. Il en va de même pour les autres organismes aquatiques qui pourraient percevoir ces bruits.

III Eléments toxiques dans l'eau → IV Oiseaux, mammifères aquatiques

III Eléments toxiques dans l'eau → IV Productivité biologique aquatique

La majeure partie des éléments toxiques proviendra du pétrole déversé dans l'eau et des produits (dispersants, absorbants, etc.) utilisés pour combattre ces déversements de pétrole.

Dans la flore aquatique et le phytoplancton, les éléments toxiques agissent au niveau de l'ADN, donc au niveau de la synthèse des protéines et des enzymes. Ceci peut avoir des effets sur la vitalité des plantes.

Pour tous les organismes tels que les poissons, le benthos et les animaux de la faune intertidale, la toxicité se manifesterait surtout par le biais de la chaîne alimentaire, à moins que les concentrations ne soient très élevées. Ce peut être le cas pour les dispersants dans la zone intertidale qui peuvent avoir un effet plus important que le pétrole. Pour certains détergents, une concentration plus grande que un ppm est

toxique pour certaines espèces du littoral. Selon une étude faite par Battelle (1967), il semblerait que les effets de tous les détergents sont semblables. Dans cette étude, on cite qu'un certain nombre de chercheurs (13 références) ont conclu qu'une concentration de 5 à 10 ppm ou plus causait la mort de plusieurs espèces de poissons. Toutefois des recherches plus récentes ont amené le développement de dispersants moins toxiques.

Toutes les huiles contiennent des substances solubles dans l'eau qui peuvent empoisonner directement les poissons ou leur nourriture. Dans certains cas, ces substances sont assez toxiques pour causer la mort immédiate.

Les déchets domestiques peuvent aussi contenir des toxiques tels que l'ammoniaque, certains types de phénols (monohydrique), du zinc, du cuivre, du cyanure libre.

III Hydrocarbures dans l'eau → IV Dégradation des espaces

Les espaces récréatifs seront les plus affectés par la présence du superport. Ceci est dû au fait que la zone côtière est souvent la plus propice pour la récréation. Nous voulons inclure dans le terme "espaces récréatifs" les plages et la zone côtière occupée par les résidences de villégiature.

Les effets de l'huile pourraient être désastreux pour les activités d'une plage car les plages polluées par l'huile deviennent inutilisables pour la baignade par exemple. L'huile s'accumule sur la plage à la faveur des vagues et des marées, noircissant le sable et les roches.

Un déversement d'huile gênerait sans aucun doute les beautés naturelles de la zone côtière qui ont attiré les villégiateurs, compromettant

ainsi pour quelques années le succès de la côte comme endroit de villégiature et de visite touristique.

Un déversement d'huile sur la terre ferme aurait un effet plus local. Les espaces agricoles et forestiers ne seront pas très exposés car l'activité du port sera surtout localisée sur la côte. Il y aura le sol du parc de réservoirs qui risque d'être imbibé d'huile mais ce sera un espace assez limité.

III Hydrocarbures dans l'eau —————▶ IV Eau

L'eau polluée par les hydrocarbures acquiert un goût et une odeur qui la rendent inutilisable aussi bien pour la consommation que pour la baignade. Dans la région du superport, l'eau du fleuve n'étant pas utilisée pour la consommation, l'impact sur la récréation sera le plus important.

III Hydrocarbures dans l'eau —————▶ IV Esthétique

Les déversements d'huile dans l'eau ou sur terre peuvent modifier l'esthétique d'un paysage (en agissant sur des caractéristiques physiques). Les effets peuvent être ressentis sur une grande échelle particulièrement pour les déversements dans l'eau, les nappes d'huile pouvant s'étendre sur plusieurs milles carrés même si leur origine est ponctuelle. Les déversements sur la terre ferme sont d'une importance moindre, mais à longue échéance l'effet de déversements consécutifs peut se révéler aussi grave que celui d'un déversement majeur particulièrement pour la végétation qui a une grande importance dans l'esthétique des paysages terrestres.

III Hydrocarbures dans l'eau → IV Oiseaux et Mammifères aquatiques

L'effet de l'huile sur les oiseaux et les mammifères aquatiques dépend de plusieurs facteurs tels que le type d'huile et la température ambiante. Pour les mammifères, l'effet se manifestera surtout par l'intermédiaire de leur nourriture. Toutefois les oiseaux seront particulièrement affectés par les hydrocarbures; ce sont les effets mécaniques de l'huile qui sont les plus importants. En effet, l'huile qui entre en contact avec le plumage d'un oiseau lui fait perdre ses propriétés isolantes, ce qui le met en grand danger de mort par la noyade ou le froid. Par exemple, un canard dont le plumage est imprégné d'huile, subit le même stress de température à $+15^{\circ}\text{C}$ qu'un canard normal à -20°C (Couillard et Roy, 1973). La mort par noyade est surtout fréquente pour les oiseaux qui passent leur vie au large, s'approchant rarement du rivage. Quant aux oiseaux fréquentant le rivage, ils peuvent survivre à un léger huilage de leur plumage, mais si leur poitrine est couverte d'huile et qu'ils couvent, cela peut empêcher l'éclosion des oeufs (Waddington, 1971). Les oiseaux migrateurs sont aussi directement affectés par les dépôts d'huile sur le rivage qui réduisent la quantité de nourriture disponible.

Les effets toxiques de l'huile pour les oiseaux ne sont pas non plus négligeables car on a constaté que de 1/3 à 1/2 de la quantité d'huile extraite du plumage d'un oiseau trouvé mort produisait des effets internes sérieux tels que des hémorragies (Tarzwell, 1965).

III Hydrocarbures dans l'eau —> IV Productivité biologique aquatique

Les hydrocarbures dans l'eau peuvent affecter la productivité biologique aussi bien au niveau de la productivité primaire qu'au niveau des consommateurs primaires (herbivores) et secondaires.

Les hydrocarbures déversés dans l'eau se concentrent sur la surface de l'eau, à l'interface eau-air, sous forme d'un film d'huile. Cette couche d'huile peut nuire à la production primaire en diminuant la quantité de lumière pénétrant dans l'eau. De plus, les hydrocarbures présents dans l'eau peuvent s'accumuler en diminuant la quantité de lumière pénétrant dans l'eau sur les plantes aquatiques et ainsi perturber les échanges entre la plante et son milieu, échanges qui sont responsables de la photosynthèse. Les plantes vasculaires qui ont des feuilles au-dessus de l'eau et des racines résistent mieux à la présence de l'huile en suspension dans l'eau que les plantes immergées qui tirent leurs substances nutritives directement du milieu aquatique (Couillard, D. et Roy, J.P., 1973).

Lorsqu'une nappe de pétrole atteint le rivage, l'huile adhère fortement à la flore et les marées successives ne réussissent à laver qu'une proportion minime des plantes. Sous les films d'huile, les feuilles peuvent initialement demeurer vertes mais éventuellement elles jaunissent et meurent. Toutefois, si la fuite est légère, de nouvelles pousses apparaissent au bout de trois semaines et la végétation revit. Par contre, si la pollution a été produite dans le sol jusqu'aux racines, la récupération par les plantes diminue grandement et les nouvelles pousses deviennent pratiquement inexistantes. De même, les plantes annuelles

repoussent naturellement très rarement après une pollution par l'huile (Couillard, D. et Roy, J.P., 1973). Cependant, à long terme, on a observé une récupération par les plantes après une fuite de pétrole.

Lorsque les résidus d'huile et ses produits de dégradation sédimentent sur le fond, ils peuvent avoir des effets physiques et chimiques nuisibles pour les organismes aquatiques. De là le danger pour le benthos sur le fond et la faune intertidale sur le rivage lorsqu'on sait que de faibles quantités d'huile sont nécessaires pour gâter la chair des coquillages. Aussi peu que .01 mm d'huile dans l'eau peut avoir un effet sur le goût des coquillages. Les effets nuisibles de l'huile peuvent aussi perturber des processus vitaux tels que l'action ciliaire des branchies des mollusques et les mécanismes d'assimilation de la nourriture ou d'attraction sexuelle. L'ingestion d'huile peut être directement toxique ou encore provoquer des changements dans les réactions chimiques responsables de l'activité et du développement normal d'un organisme. Les produits de dégradation de l'huile incorporés dans les tissus des organismes peuvent avoir des effets cancérigènes sur ceux qui les consommeront (Waddington, 1971).

Sur les poissons, les effets de l'huile sont très diversifiés et très complexes. Une contamination sévère causera la mort des poissons, soit directement, ou plus probablement indirectement par interférence avec leur nourriture ou leur oxygène. On sait en effet que l'oxydation de l'huile dans l'eau consomme beaucoup d'oxygène, ce qui risque dans certains cas d'abaisser la concentration d'oxygène dissous dans l'eau. De plus, la présence d'un film d'huile sur la surface de l'eau empêche la dissolution de l'oxygène de l'air dans l'eau. Les effets toxiques

des huiles minérales dépendent principalement de deux sortes de composés: les composés aromatiques volatils et les substances phénoliques qui donnent un goût indésirable à l'eau potable chlorée. Cependant ces composés sont volatils et par conséquent leurs effets sont à court terme. Les composés toxiques sont présents en plus grandes concentrations dans les huiles raffinées. Les effets toxiques dépendent aussi des circonstances du déversement. Par exemple les effets toxiques d'un déversement d'huile en haute mer seront moins graves que pour un déversement dans un port où le pouvoir de dilution est moins grand (Waddington, 1971). Les effets à long terme de la pollution par l'huile sont moins évidents que ceux à court terme mais d'une plus grande portée. Si on considère, entre autres, l'accumulation possible d'hydrocarbures stables dans les organismes constituant la chaîne alimentaire aquatique, on se rend compte de toutes les implications que ce type de pollution pourrait avoir sur l'homme qui considère les mers comme une source de nourriture très importante pour l'humanité dans les années futures. Une conséquence qu'on ressent déjà est l'incorporation dans la nourriture de substances qui donne une saveur indésirable.

L'effet sur l'écologie marine est un autre effet à long terme qui peut être qualifié de très sérieux. Par exemple, plusieurs processus biologiques sont contrôlés par des concentrations infimes, de l'ordre du ppb, de messagers chimiques dans l'eau. Or les hydrocarbures peuvent changer la concentration de ces éléments dans l'eau et ainsi bouleverser des processus aussi vitaux que la reproduction et la prédation, entre autres.

Le zooplancton constitue une exception dans la chaîne alimentaire

aquatique du fait qu'il semble pouvoir concentrer les hydrocarbures sans en ressentir d'effets toxiques. Cependant le zooplancton ne peut contribuer directement à la destruction d'une nappe d'huile car l'huile doit d'abord être dispersée par l'action des courants et des vents; mais si le zooplancton est abondant, les boulettes fécales de ces organismes peuvent être un réservoir important pour l'huile dispersée dans l'eau. Après le désastre du Torrey Canyon, l'analyse d'échantillons de plancton montra la présence de substances avec un spectre de fluorescence semblable à celui de l'huile brute et correspondant à un contenu en huile de .01 à 1% du poids sec du plancton (Waddington, 1971). Un examen microscopique a montré de petites globules huileuses adhérant à la surface du corps du plancton, globules qui avaient adhéré pendant que l'animal se déplaçait dans de l'eau contenant de l'huile. Il semble donc que le zooplancton ne montre pas de réaction immédiate à la présence du pétrole, ce qui ne veut pas dire qu'il s'en accomode sans perturbation à longue échéance. Cependant, il n'en va pas de même pour les poissons qui doivent consommer ce zooplancton.

Il semble donc que le milieu aquatique soit capable d'absorber une certaine quantité d'hydrocarbures; d'ailleurs, il y a dans ce milieu des hydrocarbures qui n'originent pas de l'activité humaine. Cependant, les quantités d'hydrocarbures déversés dans le milieu aquatique par l'homme sont beaucoup plus considérables que les quantités d'origine naturelle.

III Intensité de lumière dans l'eau → IV Productivité biologique aquatique

Lorsque la quantité et la qualité de la lumière pénétrant dans l'eau sont changées, toute la vie animale aquatique en est affectée directement car le milieu est plus obscur. Cependant, l'effet indirect qui peut limiter

la quantité de nourriture en perturbant le processus de la photo synthèse risque d'être beaucoup plus grave pour la productivité biologique aquatique.

III Matériaux flottants → IV Esthétique

Les matériaux non naturels flottants sur l'eau améliorent rarement la beauté de la nature. Leur présence contribue plus souvent à diminuer l'esthétique des plages aussi bien que du cours d'eau lui-même.

III Nutriments → IV Productivité biologique aquatique

Conséquemment à l'enrichissement par les nutriments, il y a une diminution du nombre d'espèces d'animaux présents dans le milieu aquatique. L'enrichissement fait prospérer quelques espèces au dépens des autres. Le résultat ressemble beaucoup à ce qui se produit lorsqu'il y a introduction de poissons dans le milieu. Un enrichissement trop rapide du milieu peut causer le vieillissement prématuré d'un cours d'eau et finalement son eutrophisation, le cas des Grands Lacs est l'un des meilleurs exemples.

C'est surtout le phytoplancton qui est affecté par les nutriments. Les algues vertes (phytoplancton) en particulier réagissent à l'enrichissement organique. Non seulement la quantité de phytoplancton augmente, mais les espèces et la proportion de chacune des espèces changent également. Certaines espèces s'adaptent plus facilement à la pollution et ce sont elles qui se reproduisent le plus vite.

Le phytoplancton étant à la base de la chaîne alimentaire aquatique, des changements dans la quantité et les espèces de phytoplancton ont des effets sur toute la chaîne alimentaire. Plus de phytoplancton signifie

plus de nourriture pour les poissons qui se nourrissent du zooplancton; et ainsi de suite pour le reste de la chaîne alimentaire aquatique. L'équilibre entre les espèces en est modifié ainsi que toute la productivité biologique aquatique.

III Odeur —————> IV Eau

Les odeurs désagréables dans l'eau sont associées soit à la présence d'organismes microscopiques vivants, de végétation en décomposition, de déchets industriels ou de composés phénoliques lorsque l'eau est chlorée. Lorsque l'eau dégage des odeurs désagréables, son utilisation pour les activités récréatives et pour la consommation est compromise.

III Odeur —————> IV Productivité biologique aquatique

Les odeurs dans l'eau n'affectent probablement pas beaucoup la productivité biologique aquatique. Elles peuvent cependant avoir un effet nuisible sur sa valeur commerciale en affectant le goût de la chair des organismes tels que les poissons et les coquillages commerciaux.

III Oxygène dissous —————> IV Eau

La diminution de l'oxygène dissous dans l'eau a non seulement un effet sur la vie aquatique mais aussi sur la qualité de l'eau pour les différentes activités de l'homme. Dans la région qui nous intéresse, les principales activités de l'homme qui utilisent l'eau du fleuve sont la navigation et la récréation. Or, la récréation exige des concentrations d'oxygène dans l'eau aussi grandes que la vie aquatique. Par conséquent, si la vie aquatique est affectée par une diminution de l'oxygène dissous dans l'eau, il en sera de même pour les activités récréatives.

III Oxygène dissous → IV Productivité biologique aquatique

La turbulence de l'eau due à la navigation, aux marées, aux courants et aux vents, fait qu'il est peu probable que la concentration d'oxygène dissous dans l'eau descende au-dessous de 5 mg/l, concentration pour laquelle des effets nuisibles sur la vie aquatique sont observables.

Certaines formes de vie aquatique sont très sensibles à toute diminution de l'oxygène dissous dans l'eau et meurent d'asphyxie très rapidement. Par exemple, un bas niveau d'oxygène réduit la respiration des poissons et leur performance de nage, diminue leur appétit et leur taux de croissance et leur développement embryonnaire est perturbé. C'est souvent la concentration d'oxygène dissous qui détermine le degré de résistance des poissons aux toxiques présents dans l'eau. Cependant, en l'absence d'autres facteurs, on ne doit pas s'attendre à ce qu'il y ait mortalité chez les poissons lorsque l'oxygène dissous est de 3 ppm et même si cette concentration persiste pendant de longues périodes. Des concentrations autour de 2 pp, peuvent être toxiques pour les espèces les plus sensibles (Tarzwell, 1965). La truite, par exemple, peut mourir en l'espace de quelques heures si l'oxygène dissous est moindre que 2 ppm. Une concentration de 1 ppm peut être suffisante pour les poissons les plus résistants ainsi que pour certains poissons plus sensibles s'ils ont été habitués graduellement à ces basses concentrations.

III pH → IV Eau

Le pH est l'un des paramètres les plus fréquemment mesurés pour déterminer la qualité d'une eau. Les valeurs acceptables de pH varient avec les différentes utilisations de l'eau. Pour la vie aquatique, les

valeurs de pH entre 5 et 9 sont, généralement, celles qui se rapprochent le plus de la norme.

III Polluants atmosphériques: Hydrocarbures, —▶ IV Bien-être de population
SO₂, CO₂, NO_x, H₂S, poussière, fumée, mercaptans

Les polluants atmosphériques provoquent entre autres des maladies respiratoires très graves. Par exemple, la respiration dans un milieu ambiant chargé de particules peut provoquer, dépendant de la nature des particules, des maladies telles que l'asbestose provenant de la respiration de particules d'amiante et la silicose provenant de l'inhalation de particules de silice, principalement de silice cristallisée (Chovin, 1973). Les situations provoquant de telles maladies sont des extrêmes, car même dans l'atmosphère de villes très polluées, les poussières se trouvent à des concentrations très inférieures de sorte que l'on observe rarement une action spécifique. Dans la situation qui nous intéresse, celle de la construction et de l'opération d'un superport, les concentrations de poussière dans l'air ne seront sans doute pas suffisantes pour incommoder une population habituée à respirer un air pur pas encore souillé par l'activité de l'homme.

Les particules solides ne seront pas les seuls polluants atmosphériques. Elles seront accompagnées de polluants gazeux associés principalement au fonctionnement des moteurs à combustion tels que le dioxyde de soufre, le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote et de soufre, les dérivés du plomb et les hydrocarbures (Chovin, 1973). D'autres gaz, tels que l'hydrogène sulfuré (H₂S) et les mercaptans, provenant de la manipulation et de l'entreposage d'importantes quantités d'hydrocarbures, se répandront dans l'atmosphère. Les premiers effets observés des hydrocarbures le sont pour une con-

centration de 25 ppm (Chovin, 1973), concentration qui est très loin d'être atteinte, même pour les atmosphères urbaines les plus polluées. Il est donc peu probable que cette concentration soit atteinte pendant l'opération du superport.

III Polluants atmosphériques: Hydrocarbures, —→ IV Dégradation des espaces
CO₂, SO₂, NO_x, poussière, fumée

Les dommages causés à la végétation par la pollution de l'air sont importants pour l'agriculture et les forêts. Parmi les divers polluants atmosphériques, ce sont surtout le dioxyde de soufre et les dérivés du fluor qui semblent exercer sur les végétaux les ravages les plus prononcés (Chovin, 1973) alors que l'hydrogène sulfuré (H₂S) s'attaque aux surfaces peinturées et accélère la corrosion des matériaux. Différentes espèces de plantes peuvent avoir des tolérances très différentes pour des polluants. En général, les plantes peuvent tolérer une certaine quantité sans être apparemment incommodées, mais au-dessus d'un certain seuil, les effets nuisibles apparaissent. Par exemple, l'arrêt de la croissance d'une plante par le dioxyde de soufre est dû principalement à la destruction des tissus de la feuille et à la réduction de la photosynthèse qui en résulte. Des troubles graves peuvent alors se produire si le dioxyde de soufre est absorbé par les feuilles plus rapidement qu'il peut être converti en sulfate et assimilé. Des troubles chroniques se produisent quand le dioxyde de soufre est absorbé en concentrations subléthales pendant de longues périodes.

III Polluants atmosphériques: Hydrocarbures, —→ IV Eau
CO₂, SO₂, NO_x, poussière, fumée

Le lavage de l'air par les pluies produit une eau polluée qui se retrouve ultérieurement dans les cours d'eau. Par exemple, une étude bibliographi-

que faite par l'INRS-Eau (Couillard, D. et al. 1975), définit la composition de l'eau des précipitations de la façon suivante (Tableau 2):

Tableau 2: Composition de l'eau de pluie

Oxygène:	7.7 à 8 cm ³ /l.
Azote:	16.4 à 16.8 cm ³ /l.
CO ₂ dissous:	La teneur varie selon les saisons et la durée de la pluie: les premières minutes des pluies donnant des eaux plus riches en CO ₂ . Ces eaux sont plus corrosives. De plus, si on se base sur la quantité totale d'eau tombée durant une pluie, on obtient:
	a) 1.1 mg/l. de CO ₂ pour une pluie ayant donné 11.3 mm au pluviomètre.
	b) 30.8 mg/l de CO ₂ pour une pluie ayant donné 0.5 au pluviomètre.

Ces deux mesures ont été effectuées au même endroit. Durant une autre précipitation, on a observé une concentration de 53.8 mg/l. de CO₂ après 1.1 mm d'eau et 7.2 mg/l de CO₂ après 6.8 mm d'eau.

NH ₃ :	4 à 16 mg/l.
NO ₃ :	0.3 à 1 mg/l.
Na ₂ SO ₄ :	≈10 mg/l.
pH:	Le pH des eaux de pluies est variable, normalement il se situe entre 6.5 et 7.0 dû à l'acide carbonique libre et aux constituants acides des fumées industrielles. Dans les zones industrielles, le pH peut descendre de 5, 4, et même 3.
Microbes:	Les microbes sont abondants surtout dans les eaux récoltées au début d'une pluie. Ces premières eaux assainissent l'atmosphère.

Dans le cas qui nous intéresse, ce seront surtout les fumées provenant des navires qui pourront affecter la qualité des eaux atmosphériques. Le dioxyde de carbone, l'azote et le pH seront donc quelques uns des principaux paramètres à surveiller. Néanmoins, étant donné le volume important des eaux d'écoulement, l'effet sur la qualité de l'eau sera négligea-

Dans le même ordre d'idée, il est bon de souligner que tous les processus liés à la productivité biologique aquatique sont adaptés à la composition naturelle de l'eau et que tout changement peut entraîner des conséquences plus ou moins graves.

III Turbidité → IV Eau

La turbidité de l'eau est très désagréable pour la baignade et d'autres activités récréatives. Elle peut être causée par des micro-organismes ou des détritrus organiques, par la silice ou d'autres substances minérales que le zinc, le fer et le manganèse, l'argile ou le silt, ou par des produits d'origine industrielle. Dans le cas qui nous intéresse, la turbidité sera due principalement aux détritrus organiques et à la remise en suspension d'argile ou de silt en raison principalement des travaux de dragage et de l'effet des marées.

III Turbidité → IV Productivité biologique aquatique

La turbidité, lorsqu'elle est trop grande, peut nuire à la plupart des organismes aquatiques surtout lorsqu'ils sont à l'état larvaire. Par exemple, les oeufs et les larves de certains coquillages sont très sensibles aux particules dans l'eau.

Dans les cas de turbidité excessive, même les organismes adultes seront affectés et à la limite, la turbidité peut être vitale. La grande quantité de particules circulant dans les branchies des poissons peut les irriter et rendre les poissons, par exemple, plus sujets aux infections; si les particules sont dures, elles peuvent agir comme des abrasifs sur les organes des poissons; si les particules sont en quantité suffisante, elles peuvent recouvrir les branchies des poissons, provoquant la mort par asphyxie.

La turbidité modifie également la quantité et la qualité de la lumière pénétrant dans l'eau. Elle peut ainsi affecter la base végétale de la productivité biologique aquatique pour qui la lumière est la source d'énergie pouvant synthétiser de la matière organique à partir des éléments: carbone, azote, phosphore.

CHAPITRE 4. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

1. Une revue de littérature existante sur les procédures d'évaluation d'impact sur l'environnement a démontré que ces méthodes ne réussissaient pas à cerner complètement la question.
2. Ce travail propose une méthodologie nouvelle pour l'évaluation des impacts sur l'environnement d'un projet de développement. Nous pensons que cette méthode est susceptible d'améliorer les procédures déjà existantes et décrites dans la littérature.
3. L'auteur a identifié systématiquement l'ensemble des relations "homme-environnement" pour un projet d'implantation d'un port pour superpétroliers sur les rives du fleuve St-Laurent.
4. Les installations portuaires pour pétroliers représentent beaucoup plus de risques pour l'environnement que la plupart des installations portuaires pour marchandises sèches.
5. L'ensemble des relations "homme-environnement" devient rapidement très complexe lorsque les projets impliqués ont un peu d'envergure. Il faut donc procéder systématiquement pour trouver l'ensemble des relations de façon à ce qu'il soit aussi complet que possible.
6. La procédure proposée comprend deux étapes: une identification des causes, des conditions et des effets d'un projet et une description des relations entre ces niveaux.

7. Le graphe permet l'identification des principales relations "projet-environnement", en l'occurrence les plus néfastes sur le milieu. De plus, le graphe donne une vue d'ensemble du problème des évaluations d'impact sans qu'il soit nécessaire de consulter des rapports de plusieurs centaines de pages. Par la suite, le lecteur pourra lire les parties du rapport qui l'intéressent particulièrement.
8. Compte tenu du temps alloué pour la préparation du mémoire, la technique développée est appliquée seulement aux études sur l'environnement. Toutefois, cette technique peut être appliquée comme telle pour l'identification et la description des aspects socio-économiques.
9. Les graphes couvrant les aspects écologiques, socio-économiques et techniques faciliteront de beaucoup le travail des spécialistes ayant pour tâche la gestion du territoire.
10. Le nombre de liens n'est pas toujours représentatif de la grandeur de l'impact. Pour palier à cette difficulté, nous envisageons de "chiffrer" dans un autre travail de mémoire, les liens reliant les éléments des différents niveaux. Ce chiffrage pourra aussi s'appliquer aux éléments mêmes.

5- BIBLIOGRAPHIE

- ACKERMAN, E.A. (1968).
"Conservation of water in agriculture, industry, and municipal use".
Water Resource Bulletin, 4: 3-19.
- AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (1971).
"Proceedings of the symposium on Prevention and control of oil spills".
Washington, 544p.
- ARMSTRONG, J. (1972).
"A system approach to environmental impact". Dans: Dilton, R.B. et
Goodale, T.L. (éd.) "Impact analysis: Philosophy & Methods". 65-75.
- BALLWEG, J.A. (1971).
"Water Resources as Social Problems". Water Resource Bulletin,
7: 935-940.
- BAKER, J. K., DEE, N. et FINLEY, J.R. (1974).
"Measuring impacts of water resource developments on the human
environment". Water Resource Bulletin, 10.
- BANKS, H.O. et WILLIAMS, J.O. (1973).
"Water Resource Planning". American Water Works Association Journal,
65: 665-669.
- BARGMAN, R.D. et GARBER, W.F. (1972).
"The control and removal of materials of ecological importance from
wastewaters in Los Angeles". Advances in water pollution research:
773-781.
- BARRAGER, S.M. (1974).
"The impact of water resource quality changes on surrounding property
values". Water Resource Bulletin, 10: 759-765.
- BATELLE MEMORIAL INSTITUTE (1967).
"Oil spillage study". Richland, Washington.
- BEYCHOK, M.R. (1967).
"Aqueous Wastes from Petroleum and Petrochemical Plants". John
Wiley & Sons, London, 370 p.
- BISSELLE, C.A. et al (1971).
"Monitoring the Environment of the Nation". National Technical Infor-
mation Service, Springfield, 740 p.
- BISWAS, A.K. et DURIE, R.W. (1971).
"Sociological aspects of water development". Water Resource Bulletin,
7: 1137-1143.
- BRANDL, J.E. (1969).
"Comment on "the goals-achievement matrix for evaluating alternative
plans"". A.I.P. Journal, 35: 139-141.

- BUSCH, A.W. (1971).
"Limitation of standards in water quality". Chemical Engineering Progress, 67: 28-31
- BUSHBAUM, R. (1959).
"Animals without blackbones". Vol. 1. Penguin Books Ltd., Victoria, Australia, 204 p.
- CAIN, S.A. (1968).
"Ecological impacts of water resources development". Water Resource Bulletin, 4: 57-75.
- CERAME-VIVAS, M.S. (1968).
"The ocean eagle spill". Department of Marine Sciences, University of Puerto Rico.
- CHAMPLIN, J.B. (1973).
"Ecological studies along transmission lines in southwestern United States". Journal of Environmental Sciences, Nov./Dec.: 11-18.
- CHEN, K. (1971).
"A macrosystem analysis of the human environment". Journal of Environmental Systems, 1: 133-152.
- CHOVIN, P. et ROUSSEL, A. (1973).
"Physico-chimie et physiopathologie des polluants atmosphériques". Masson & Cie, Paris. 303 p.
- CLAPPER, L. S. (1974).
"The environment and water-ressource development". Journal of American Water Works Association. 291-192.
- COOPER, C.F. (1970).
"Man's impact on the biosphere". Journal of Soil and Water Conservation, 25: 124-127.
- COUILLARD, D. et al (1975).
"Etude des apports: eaux de ruissellement". Services de protection de l'environnement, Gouvernement du Québec. (en préparation).
- COUILLARD, D. et ROY, J. P. (1973).
"Impact sur l'environnement du projet Oléoduc et superport St-Laurent: Tome IV: Evaluation de l'impact écologique du projet". ACRES Consulting Services Limited, Niagara Falls, Ontario.
- COUILLARD, D. et SLIVITZKY, M. (1973).
"Etude préliminaire de l'impact sur la qualité des eaux de surface du projet de construction d'un oléoduc sur la rive sud du St-Laurent". ACRES Consulting Services Limited, Niagara Falls, Ontario.

- CRISS, R.R. (1971).
"Socio-economic accounting applied to water resource planning".
Water Resource Bulletin, 7: 639-643.
- DEE, N. et al (1973).
"An environmental evaluation system for water resource planning".
Water Resource Bulletin, 9: 523-535.
- DINUIS, S.H. (1972).
"Social accounting system for evaluating water resources". Water
Resources Research, 8: 1159-1177.
- DOUGAL, M.D. et al (1970).
"Physical and economic factors associated with the establishment of
stream water quality standards". Vol. 1. Department of Commerce,
U.S. 323 p.
- DZURIK, A.A. (1973).
"The coastal zone as an integral element of water-resource system".
Water Resource Bulletin, 9: 735-745.
- ECKHOFF, D.W., ARMSTRONG, N.E. et LANG, M. (1970).
"Ecological factors in Jamaica Bay". Advances in water pollution
research, 2: 1-8.
- ELLIS, M.M. (1937).
"Detection and measurement of stream pollution". Bureau of Fisheries
Bulletin, U.S. Department of Commerce. 22.
- EPA (1971)
"Questions and answers on water quality standards". U.S. Environ-
mental Protection, Washington.
- ENVIRONMENT CANADA (1973).
"Preliminary effect assessment superport development Prince Rupert
region". Vol. 1, 23 p.
- ETZOLD, D. J. (1973).
"Benefit-cost analysis: An integral part of environmental decisioning".
Journal of Environmental Systems, 3: 253-256.
- FALKENMARK, M. et LINDH, G. (1974).
"How can we cope with the water resources situation by the year 2015?".
Ambio, 3: 114-122.
- FARRELL, C.A. (1972).
"Disposal of marine sewage, and environmental management standards
for naval ships". National Technical Information Service, Spring-
field, 19 p.

- FOA, U.G. et FOA, E.B. (1973).
"Measuring quality of life: can it help solve the ecological crisis?".
International Journal of Environmental Studies, 5: 21-26.
- FORBES, F.J. et HODGES, R.C. (1971).
"New approaches to comprehensive planning in Canada". Water
Resource Bulletin, 7: 1059-1070.
- GILBERT, J.B. (1974).
"The water industry in the decade of environmental concern".
American Water Works Association Journal, 66: 272-274.
- GROUPE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHES OCEANOGRAPHIQUES DU QUEBEC
(GIROQ) (1973).
"Rapport 1970-72".
- GROUPE INTERUNIVERSITAIRE DE RECHERCHES OCEANOGRAPHIQUES DU QUEBEC (1973).
"Contribution au débat sur le port pour super-pétroliers dans le
St-Laurent". 22 p.
- GOLDMAN, R.F. (1973).
"Environmental limits; their prescription". International Journal
of Environmental Studies, 5: 193-204.
- HALL, H.A. (1973).
"IMPACT, an appraisal of the environmental consequences of deve-
lopments proposed for Lorneville, New Brunswick". Volumes I et II,
Gouvernement du Canada.
- HAIMES, Y.Y. (1971).
"Modeling and control of the pollution of water resources systems
via multilevel approach". Water Resource Bulletin, 7: 93-101.
- HANSEN, R.S. (1971).
"Dredging: Problems and remedies". Limnos, 4: 3-12.
- HILL, M. (1968).
"A goals-achievement matrix for evaluating alternative plans".
AIP Journal, 34: 19-29.
- HILL, M. (1969).
"Hill answering the critics from Brandl J.E.". AIP Journal, 35: 141-142.
- HUTCHINSON, F.E. (1970).
"Environmental pollution from highway de-icing compounds". Journal
of Soil and Water Conservation, 25: 144-146.
- INSTITUTE OF ECOLOGY (1971).
"Optimum pathway matrix analysis approach to the environmental
decision making process". University of Georgia, Athens, Georgia.
21 p.

INTERNATIONAL LAKE ERIE WATER POLLUTION BOARD AND THE INTERNATIONAL LAKE ONTARIO ST-LAWRENCE RIVER WATER POLLUTION BOARD (1968).

"Pollution on lake Erie, lake Ontario and the International Section of the St-Lawrence river". Tome 3. 330 p.

JOHNSON, P. K. (1972).

"Social aspects of environmental impact". Dans: Ditton, R.B. et Goodale, T.L. (éd.) "Impact analysis: Philosophy and methods". 87-90.

KATHREN, R.L. (1973).

"Environmental impact statements for nuclear power plants". Journal of environmental sciences. Sept/Oct.: 2-16.

KAYNOR, E.R. et HOWARDS, I. (1971).

"Limits on the institutional frame of reference in water resources decision-making". Water Resource Bulletin, 7: 1117-1127.

KELLEY, E. (1972).

"A citizen's guide to environmental impact statements". Limnos, 5: 22-24.

KLEIN, L. (1966).

"River pollution". Vol. 3. Butterworths, London. 484 p.

KOOT, A.S., VERNIMMEN, A.P. et PLAS, J.C. (1972).

"Charging polluters for financing pollution abatement". Advances in water pollution research: 759-771.

KRAUSKOPK, T.M. (1972).

"Evaluation of environmental impact through a computer modelling process". Dans: Ditton, R.B. et Goodale, T.L. (éd.) "Impact analysis: Philosophy and methods". 107-127.

LARKIN, D.G. et ANTON, W.F. (1974).

"Environmental assessment of water-system improvement". American Water Works Association Journal. May 1974: 282-285.

LEE, G.F. (1973).

"Review paper: Chemical aspects of bioassay techniques for establishing water quality criteria". Water Research, 7: 1525-1546.

LEE, T.R. et FENWICK, P.D. (1973).

"The environmental matrix: Input-output techniques applied to pollution problems in Ontario". Water Resource Bulletin, 9: 25-33.

LEE, E.S. et MISRA, P.K. (1974).

"Optimal weighting function in water quality modeling". Water Resource Bulletin, 10: 447-469.

- LEOPOLD, L.B. et al (1971).
"A procedure for evaluating environmental impact". Geological Survey Circular 645. Washington. 13 p.
- MARSTRAND, P.K. (1974).
"Assessing the intangibles in water pollution control". International Journal of Environmental Studies, 5: 289-298.
- MASCOLO, D. et al (1973).
"Caractéristiques physico-chimiques des effluents urbains". AQTE, l'Eau et l'Environnement - Water and the Environment; travaux présentés à la conférence conjointe AQTE-FACE; proceedings of the conference AQTE-FACE. Publication AQTE, 16: 541-561.
- MAXWELL, P.A. (1974).
"The measurement of impacts in small watersheds for flood control". Water Resource Bulletin, 10: 1277-1287.
- MEIER, W.L. et al (1971).
"Sensitivity analysis: A necessity in water planning". Water Resource Bulletin, 7: 529-541.
- MONNEY, N.T. (1973).
"Environmental protection for harbors". The Journal of Environmental Sciences. July/August: 17-21.
- MORISAWA, M. (1971).
"Evaluation of national river environments: phase II". National Technical Information Service. Springfield. 114 p.
- MUSSIVAND, T.V. (1972).
"Application of critical path method to water resources planning". Water Resource Bulletin, 8: 685-696.
- NEWMAN, P. (1974).
"Environmental impact: Part I & II". Journal of Environmental System, 4: 109-116.
- NISBET, M. et VERNEAUX, J. (1970).
"Composantes chimiques des eaux courantes". Annales de limnologie: 161-190.
- NORTON, G.A. (1973).
"Toward a concept of strategic resource planning". International Journal of Environmental Studies, 4: 189-199.
- OFFICE OF RESEARCH AND MONITORING ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1972).
"Quality of life indicators". 83 p.

- ORLOFF, N. (1972).
"Suggestions for improvement of the environmental impact statement program". Dans: Ditton, R.B. et Goodale, T.L. (éd.) "Impact analysis: Philosophy and methods". 29-41.
- ORTOLANO, L. (1974).
"A process for federal water planning at the field level". Water Resource Bulletin, 10: 766-778.
- PADGETT, J.H. et STANFORD, R.A. (1973).
"An industrial pollution index". Water Resource Bulletin, 9: 320-327.
- PORRICELLI, J.D., KEITH, V.F. et STORCH, R. (1971).
"Tankers and the ecology". Présenté à la rencontre annuelle de la "Society of Naval Architects and Marine Engineers". Novembre 11 et 12.
- PRATI, L., PAVANELLO, R. et PESARIN, F. (1971).
"Assessment of surface water quality by a single index of pollution". Water Research, 5: 741-751.
- PUCCINI, D.S. (1971).
"Ecological models and environmental studies". Water Resource Bulletin, 7: 1144-1152.
- REED, G.W. et STREEBIN, L.E. (1972).
"Evaluation of waste waters from petroleum and coal processing". National Technical Information Service. Springfield. 203 p.
- REPORT TO THE DEPARTMENT OF TRANSPORTATION (1969).
"Combating pollution created by oil spills". Vol. I. Arthur D. Little. 51 p.
- RICKERT, D.A., SCHNEIDER, W.S., SPIEKER, A.M. (1973).
"A procedure for assessing water resources for urban planning". Water Resource Bulletin, 9: 768-792.
- ROKLES, F.H. (1971).
"The ecosystem complex, a new approach specifying the man-environment relationship". Journal of Environmental Systems, 1: 321-328.
- SAGER, P. (1972).
"Conceptualizing environmental impact". Dans : Ditton, R.B. et Goodale, T.L. (éd.) "Impact analysis: Philosophy and methods". 79-81.
- SCHLESINGER, B. et DAETZ, D. (1973).
"A conceptual framework for applying environmental assessment matrix techniques". Journal of Environmental Sciences. July/August: 11-16.

- SINGH, R.N., WILKINSON, K.P. (1974).
"On the measurement of environmental impacts of public projects from a sociological perspective". Water Resource Bulletin, 10: 415-425.
- SMITH, C.L. et HOGG, T.C. (1971).
"Cultural aspects of water resource development past, present and future". Water Resource Bulletin, 7: 386-391.
- SORENSEN, J.C. (1971).
"A framework for identification and control of resource degradation and conflict in the multiple use of the coastal zone". Thesis, Department of landscape architecture, University of California. 50 p.
- STATE OF MICHIGAN (1968).
"Summary of water quality standards for designated use areas in Michigan interstate waters". Department of Natural Resources. 38 p.
- STORCH, W.V. (1971).
"An approach to water resources problems in South Florida". Water Resource Bulletin, 7: 386-391.
- TARZWELL, C.M. et al (1965).
"Biological problems in water pollution". National Technical Information Service. Springfield. 425 p.
- TENIERE-BUCHOT, F. et OERLEMANS, J.J. (1973a).
"Le modèle POPOLE". Futuribles, XV: 155-232. Février.
- TENIERE-BUCHOT, F. et OERLEMANS, J.J. (1973b).
"Le modèle POPOLE". Futuribles, XV: 255-333. Mars.
- TILLMAN, D.C. et al
"Formulation of the ecosystem parameter index and its role in the development of a management program for the Los Angeles Harbor". Advances in Water Pollution Control. 831-841.
- TINKLAM, L.A. (1974).
"The public's role in decision-making for federal water resource development". Water Resource Bulletin, 10: 691-696.
- THOMANN, R.V. (1972).
"Systems analysis and water quality management". Environmental Science Services Division.
- WADDINGTON, J. I. (1971).
"Water pollution by oil". Peter Hepple, Institute of petroleum. London. 393 p.

WARNER, M.L. et PRESTON, E.H. (1974a).

"A review of environmental impact assessment methodologies". Report
EPA - 600/5 - 74-002 for the Environmental Protection Agency.
27 p.

WARNER, M.L. (1974b).

"A review of environmental impact assessment methodologies".
EPA - 600/5 - 74-002. Socio Economic Studies Series.

WELCH, P.S. (1952).

"Limnology". McGraw Hill Book Company. New York, N-Y. 538 p.

WILBER, C.G. (1969).

"The biological aspects of water pollution". Charles C. Thomas
(éd.) U.S.A. 296 p.

WINCHESTER, A.M. (1960).

"Biology and its relation to Mankind". D. Van Nostrand Company
Inc. Princeton. 902 p.

ZOBELL, C.E. (1964).

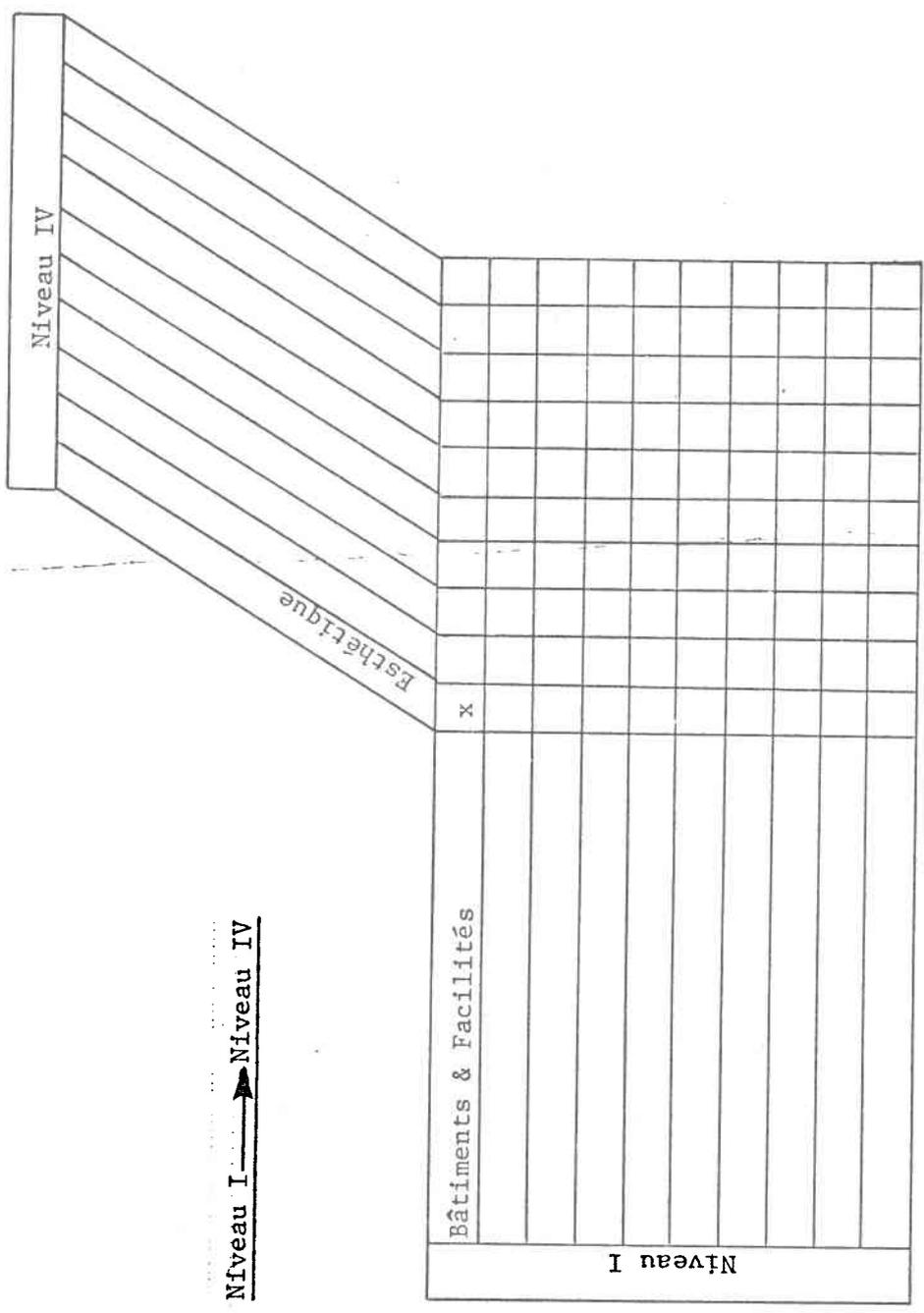
"The occurrence, effects and fate of oil polluting the sea".
Advances in Water Pollution Research, 3: 85-109.

ANNEXE A

MATRICES DES LIENS ENTRE LES DIFFERENTS NIVEAUX

Niveau III → Niveau IV

Niveau III		Niveau IV					
		Bien-être de population	Dégradation des espaces	Esthétique	Oiseaux & Mammifères aquat.	Productivité biologique aquat.	
Agents pathogènes							
Décibels	x			x	x	x	
Eléments toxiques dans l'eau				x	x	x	
Hydrocarbures		x	x	x	x	x	
Intensité lumière dans l'eau						x	
Matériaux flottant			x				
Nutriments			x			x	
Odeur	x		x			x	
Oxygène dissous			x			x	
pH			x				
Polluants atmosphériques	x	x	x				
Turbidité			x				x



Niveau I → Niveau IV