

UNIVERSITE DU QUEBEC

THESE

présentée

à

L'INSTITUT NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE (EAU)

comme exigence partielle

de la

maîtrise ès Sciences (eau)

par

René Trudel

Bac. en Géographie

"L'évaluation de l'impact technologique des usines de  
pâtes et papiers de la rivière St-François."

Novembre 1977

## REMERCIEMENTS

Mon premier merci s'adresse au Dr. Denis Couillard, directeur de la présente thèse, qui de tous les instants a été un conseiller attentif, ne ménageant en rien ses efforts et ses judicieux conseils, lesquels résultèrent en une intarissable source de motivation.

Ma profonde gratitude s'adresse également à Monsieur Dominique Mascolo qui a participé avec intérêt à la mise en place des premiers jalons de ce mémoire. Mes remerciements vont aussi à Monsieur Armand Rousseau qui s'est intégré à part entière dans l'élaboration de l'aspect biologique de cette étude.

Un merci particulier s'adresse au Dr. Ray Brouzes du centre de recherche Domtar. Monsieur Brouzes fut un précieux conseiller sur la question des pâtes et papiers, me fournissant plusieurs informations inédites sur le sujet.

Je ne peux pas passer sous silence la collaboration des membres de la division affectation du ministère des Richesses naturelles du Québec, et en particulier du chef de la division Monsieur Louis Louchard qui ont accepté de participer à plusieurs discussions concernant l'évaluation d'impact en matière de gestion. Je m'en voudrais de ne pas souligner l'empressement du centre de documentation de l'INRS-Eau ainsi que le travail minutieux de Monsieur André Parent, dessinateur.

Finally, I wish to express my feelings of gratitude to my wife Louise who, throughout my research, was a moral and technical first order support.

## RESUME

Ce mémoire se veut d'abord une réflexion sur le concept de l'évaluation d'impact et son applicabilité dans le processus de la gestion du territoire et des ressources. Cette approche a permis une familiarisation avec les méthodes d'évaluation existantes et subséquemment a incité l'élaboration d'une approche nouvelle, susceptible de pallier à la trop grande spécificité des autres techniques.

L'approche proposée se présente comme un composite de techniques déjà existantes dont la charpente principale repose sur la théorie du graphe de cohérence. Cette méthode permet d'identifier et de mettre rapidement en évidence les multiples relations existantes au niveau des divers systèmes impliqués dans la relation homme-milieu.

Finalement, on a appliqué cette méthodologie au niveau de l'impact environnemental provoqué par les différentes technologies papetières sur le bassin de la rivière St-François. Une représentation schématique de l'ensemble des relations existant entre l'industrie et le milieu récepteur des effluents ainsi que les torts qui peuvent être causés à l'environnement est également reproduite.

## TABLE DES MATIERES

	<u>Page</u>
REMERCIEMENTS.....	i
RESUME.....	iii
CHAPITRE 1	
1.1 Problématique.....	1
1.2 Une nouvelle conscientisation.....	3
1.3 Caractéristiques de la problématique québécoise.....	4
1.4 Une nouvelle approche de la gestion.....	5
1.4.1 Théorie de la décision.....	6
1.4.2 Le processus décisionnel classique.....	7
1.4.3 Mesurer l'immesurable.....	8
1.4.4 Une échelle de valeurs erronées en matière de gestion du territoire et des ressources.....	10
1.4.5 Il faut un cadre formel pour faire de l'évaluation d'impact.....	12
1.4.5.1 La stabilité.....	12
1.4.5.2 La diversité.....	13
1.4.5.3 L'irréversibilité.....	13
1.4.5.4 L'unicité.....	15
1.4.6 L'évaluation d'impact intégrée dans le processus de gestion.....	15

1.4.6.1	Reconsidérer notre concept d'évaluation.....	18
1.4.6.2	Un scénario d'évaluation en matière de gestion.....	19
1.5	Les aspects à évaluer.....	21
1.5.1	L'aspect social.....	23
1.5.2	L'aspect économique.....	24
1.5.3	L'aspect technique.....	25
1.6	Les méthodes d'évaluation existantes.....	27
1.7	La méthode proposée.....	30
1.7.1	La théorie du graphe de cohérence.....	31
1.7.2	L'aspect multi-dimensionnel du graphe de cohérence.....	31
1.7.3	La notation des liens unissant les différents éléments..	33
1.7.3.1	La notation dans le système Provencher.....	34
1.7.3.2	La notation à partir du système Delphi.....	37
1.7.3.3	Le système de notation utilisé par Morin et Trudel.....	37
1.7.4	Possibilité de raccord avec le système matriciel.....	39
1.7.5	Le passage du caractère inuitif au caractère normatif...	40
1.8	Limites et possibilités de la méthode.....	40

## CHAPITRE 2

2.1	La technique du graphe de cohérence appliquée à la gestion du territoire et des ressources.....	43
2.2	L'intérêt des pâtes et papiers.....	43
2.3	Les pâtes et papiers et les ressources naturelles.....	45

2.4	Un cadre réel pour l'application de la théorie du graphe de cohérence.....	46
2.5	Elaboration du graphe de cohérence.....	48
2.6	La fabrication de la pâte à papier.....	48
2.6.1	Généralités et historique du procédé.....	51
CHAPITRE 3		
3.1	Procédés de fabrication de la pâte à papier.....	52
3.2	La préparation du bois.....	53
3.2.1	Le lavage du bois.....	53
3.2.2	L'écorçage du bois.....	55
3.3	Préparation de la pâte mécanique.....	59
3.3.1	La mise en pâte mécanique à partir des meules.....	60
3.3.2	La mise en pâte mécanique à partir du raffinage.....	63
3.4	La mise en pâte chimique.....	67
3.4.1	Historique et principe du procédé.....	67
3.4.2	Le procédé de mise en pâte au sulfate.....	68
3.4.2.1	Récupération de la liqueur de cuisson kraft.....	70
3.4.2.2	Quelques caractéristiques des effluents du procédé kraft.....	70
3.4.3	Le procédé de mise en pâte au bisulfite.....	75
3.4.3.1	La préparation de la liqueur de cuisson.....	76
3.4.3.2	Cuisson de la pâte au bisulfite.....	79
3.4.3.3	Lavage et tamisage de la pâte.....	79

3.4.3.4	Caractéristiques des effluents du procédé au bisulfite..	81
3.5	Le principe de la mise en pâte mi-chimique.....	85
3.5.1	Caractéristiques des effluents du procédé mi-chimique...	87
3.6	Le blanchiment de la pâte.....	87
3.6.1	Le blanchiment des pâtes à haut rendement.....	89
3.6.2	Le blanchiment des pâtes à bas rendement.....	89
3.6.3	Quelques caractéristiques des effluents du procédé de blanchiment.....	91
3.6.4	Le cas du mercure.....	93
3.7	La fabrication du papier.....	93
3.7.1	Le caractère polluant de la machine à papier.....	95
 CHAPITRE 4		
4.1	Impact des usines de pâtes et papiers sur l'environnement....	98
4.2	L'impact des usines de pâtes et papiers sur la vie aquatique.	98
4.2.1	Le recouvrement du fond à partir de la matière en sus- pension émise par les usines de pâtes et papiers.....	99
4.2.2	La matière en suspension peut provoquer des dommages mécaniques aux poissons.....	100
4.2.3	La matière en suspension influence le cycle de la pho- tosynthèse.....	102
4.2.4	La demande biochimique en oxygène.....	102
4.2.5	L'oxygène dissous et l'écosystème aquatique.....	103
4.2.6	Le potentiel polluant du chlore et de ses dérivés.....	106

4.2.7	Le potentiel polluant des composés à base de soufre.....	107
4.2.8	La toxicité des effluents de pâtes et papiers et l'environnement.....	110
4.2.8.1	La toxicité des effluents de pâtes et papiers et les invertébrés.....	116
4.2.9	Les sources polluantes provoquant le goût et l'odeur....	120
4.3	L'influence des usines de pâtes et papiers sur la qualité de la rivière St-François.....	122
4.3.1	La pollution et les macro-invertébrés de la St-François.	125
4.3.2	L'analyse bactériologique de la St-François.....	129
4.3.3	L'analyse des algues dans la St-François.....	131
4.3.4	Les paramètres physico-chimiques de la St-François.....	133
4.3.4.1	L'oxygène dissous et la température.....	133
4.3.4.2	La demande biochimique en oxygène.....	136
4.3.4.3	La demande chimique en oxygène.....	136
4.3.4.4	Les solides en suspension dans la St-François.....	140
4.3.5	Le potentiel toxique de la St-François.....	141
 CHAPITRE 5		
CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....		142
BIBLIOGRAPHIE.....		145
ANNEXE A Matrices d'impacts.....		161

LISTE DES TABLEAUX

	<u>PAGE</u>
1	Aperçu des méthodes existantes..... 28
2	Quelques caractéristiques du lavage du bois..... 54
3	Potentiel polluant du système d'écorçage à tambour humide.... 58
4	Caractéristiques des effluents de quelques moulins effectuant la mise en pâte mécanique à partir des meules..... 62
5	Caractéristiques des effluents de quelques moulins effectuant la mise en pâte mécanique à partir du raffinage..... 66
6	Valeurs moyennes des divers paramètres caractérisant l'ef- fluent kraft..... 73
7	Les différents niveaux de pollution issus d'un lessiveur et d'un évaporateur en continu, comparés à un lessiveur et un évaporateur à étapes..... 74
8	Aperçu de la charge polluante et du débit à partir de la mise en pâte au bisulfite (sans système de récupération de la li- queur)..... 82
9	Aperçu de la charge polluante et du débit à partir de la mise en pâte au bisulfite (avec système de récupération de la li- queur)..... 83
10	Aperçu des différents composés susceptibles de se retrouver dans les liqueurs usées de cuisson au bisulfite..... 84
11	Caractéristiques des effluents de blanchiment des pâtes Kraft et bisulfite..... 90

12	Les pertes provenant de la machine à papier.....	97
13	Synthèse des valeurs toxiques pour les produits sulfurés.....	108
14	Les doses léthales minimales pour les menés, doses provenant des composés d'un effluent de pâte à papier kraft.....	112
15	Doses léthales minimales pour les Daphnies, les larves de Trichoptères et les larves de "Cheronomus", doses provenant des composés d'un effluent de pâte kraft.....	113
16	Résultats obtenus d'analyse d'eaux usées d'un moulin type pâtes et papiers kraft.....	115
17	Effets subléthaux des effluents d'usines de pâte kraft.....	117
18	Les principaux groupes benthiques pouvant servir d'indicateurs biologiques.....	119
19	Index biotique.....	121
20	Localisation des stations d'échantillonnage.....	123
21	Les macroinvertébrés ayant colonisé les substrats artificiels placés dans la rivière Saint-François. Eté 1974.....	126
22	Nombre de bactéries par 100 ml d'eau de rivière à différentes stations d'échantillonnage sur la rivière Saint-François.....	130
23	Résultats d'analyses chimiques sur la rivière Saint-François.	134

## LISTE DES FIGURES

	<u>PAGE</u>
1	Supra-système biosphérique ancestral..... 2
2	Supra-système biosphérique contemporain..... 2
3	Représentation schématique d'une séquence de valeur d'équilibre évoluant selon une trajectoire stable..... 14
4	Modèle théorique de la gestion du territoire et des ressources au Québec..... 17
5	Exemple d'un scénario d'évaluation en matière de gestion..... 20
6	Supra-système..... 22
7	Tableau schématique du graphe de cohérence..... 32
8	Exemple d'une courbe de fonction qualité..... 36
9	Impact d'évaluation..... 41
10	Graphe de cohérence: Aspects technologiques de l'industrie des pâtes et papiers et impact sur l'environnement..... 49
11	Diagramme du procédé d'écorçage humide..... 57
12	Diagramme illustrant le processus de la mise en pâte mécanique..... 61
13	Diagramme du procédé de la mise en pâte mécanique à partir ou raffinage..... 65
14	Diagramme du procédé kraft..... 71
15	Diagramme du procédé de mise en pâte au bisulfite..... 77

16	Diagramme du procédé mi-chimique.....	86
17	Diagramme du procédé de blanchiment à quatre étapes.....	92
18	Localisation des stations d'échantillonnage sur la Saint-François, été 1974.....	124
19	Caractérisation et concentration des algues dans la rivière Saint-François, été 1974.....	132
20	Oxygène dissout dans la rivière Saint-François, été 1974.....	135
21	Demande bio-chimique en oxygène dans la rivière Saint-François, été 1974.....	137
22	Demande chimique en oxygène dans la rivière Saint-François, été 1974.....	138
23	Matière en suspension dans la rivière Saint-François.....	139

## CHAPITRE 1

### 1.1 Problématique

Pendant des millénaires, l'homme a vécu en harmonie avec son environnement. Sa survivance dépendait directement de la qualité du milieu et de l'intensité des échanges homme-milieu. Ce jeu de l'offre et de la demande environnementale formait un système en équilibre dynamique, lequel système était régi bien inconsciemment par toute une série de lois et de principes systémiques, jusqu'à maintenant mal perçus par l'homme (figure 1).

On commence tout juste à réaliser que tout est organisé en système, et encore, certaines sciences refusent d'admettre ce principe.

Le caractère dynamique des échanges homme-milieu a permis à l'homme de développer une certaine sophistication de ses rapports avec l'environnement. Cette sophistication se traduit entre autres par l'avènement de techniques permettant une relation de moins en moins directe entre l'homme et son milieu. C'est ce qui fait que l'homme contemporain ne voit plus ou ne veut plus voir les liens qui l'unissent avec son milieu. Tous ces échanges sont filtrés par la technique (figure 2). Aujourd'hui, les échanges directs homme-milieu revêtent pratiquement un caractère folklorique (pêche, chasse, jardinage, etc...).

Cette évolution de l'homme à travers la technique lui a permis de se développer, mais aussi, malheureusement, de "s'emmédiocriser". Et cette "emmédiocrisation" de l'homme par la technique l'a amené à modifier considé-

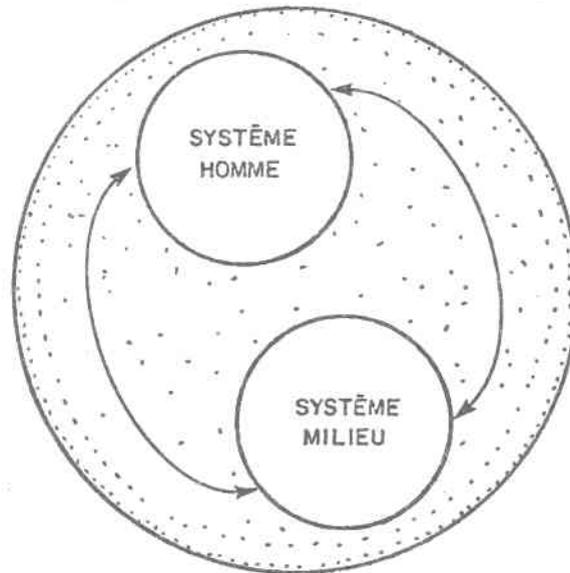


Figure 1. Supra-système biosphérique ancestral .

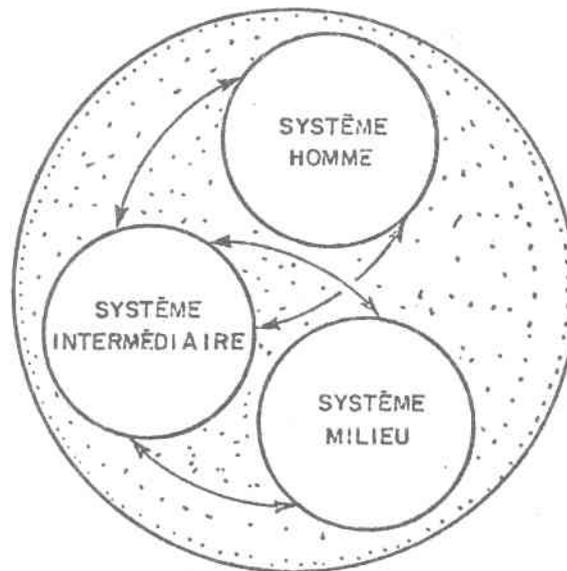


Figure 2. Supra-système biosphérique contemporain .

ablement son échelle de valeur, le portant même à placer les valeurs socio-économiques au-delà des valeurs environnementales et morales. Cette mutation des valeurs a tôt fait de provoquer une menace pour l'équilibre du système homme-milieu. Même si les relations homme-milieu sont de plus en plus indirectes par le biais de la technique, l'homme ne pourra survivre en déséquilibre avec son système. Donc, il importe pour la survie de l'humanité de respecter les lois élémentaires de cet équilibre systémique homme-milieu.

## 1.2 Une nouvelle conscientisation

Depuis les dernières années, nous assistons à une prise de conscience de la population concernant les menaces toujours croissantes du déséquilibre du système environnemental. Ce réveil se traduit par de nombreuses campagnes de sensibilisation et de lutte contre la pollution (STOP, VSP, etc). Cette nouvelle mentalité à tendance "conservationniste" suscite un impact direct sur les âmes dirigeantes, politiciens, gestionnaires, etc..., lesquels devront désormais tenir compte de l'ensemble des répercussions environnementales que provoquent leurs décisions en matière d'intervention sur le milieu.

Cette nouvelle philosophie est déjà acceptée aux Etats-Unis, avec l'implantation en 1969 du N.E.P.A. (National Environmental Policy Act) où l'on oblige par une loi toutes 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. Le Canada a aussi fait des efforts dans ce sens par une décision du Cabinet, où les ministres ont convenu que tous les ministères et agences du gouvernement fédéral devront prendre en considération les questions

d'environnement à chaque étape de l'étude et de l'exécution de tous nouveaux projets, programme ou activité propre à un ministère ou agence fédérale ou faisant usage de crédits ou de propriétés foncières fédérales. Toutefois, il n'y eu aucune loi passé en ce sens.

Même le Québec devra se mettre au diapason des grands principes conservationnistes, car son territoire peut être considéré comme menacé par les fléaux de la technologie. Que ce soit par la réalisation de super-projets hydro-électriques, l'implantation de centrales thermo-nucléaires, l'industrialisation anarchique, ou encore l'arrosage systématique de nos forêts avec des tonnes de produits chimiques aux propriétés mal connues, sans parler de l'empiètement des meilleures terres arables par le phénomène urbain, ou de la surexploitation et de la détérioration de nos ressources naturelles. Voilà autant de situations que les gestionnaires québécois, en particulier, devront contrer dans un avenir très rapproché, s'ils veulent s'assurer que le développement reste compatible avec la nécessité de sauvegarder et d'améliorer le milieu en tant que support de vie.

### 1.3 Caractéristiques de la problématique québécoise

La problématique québécoise en matière d'environnement découle d'un contexte bien particulier. A savoir que, pendant longtemps et dans certains cas encore aujourd'hui, les gestionnaires québécois agissaient sans se préoccuper du caractère limitatif des ressources et du territoire. Le Québec a toujours été considéré comme une terre d'abondance, où l'espace et les ressources naturelles n'entraveraient jamais le développement. Mais aujourd'hui, les gestionnaires et les chercheurs semblent d'accord pour dire que cette croyance n'est qu'illusion et, qu'au Québec comme ailleurs, il faudra planifier le développement du territoire et l'utilisation des ressources avec vi-

gilance. Cela implique qu'une gestion intégrée du territoire et des ressources dans un respect de l'équilibre du système environnemental s'impose.

Pour arriver à respecter l'équilibre du système environnemental, il faut être à même de comprendre les lois et les principes qui le régissent pour ensuite être en mesure d'évaluer, d'une façon objective, les répercussions environnementales d'une décision impliquant des interventions sur le milieu.

#### 1.4 Une nouvelle approche de la gestion

Traditionnellement, la gestion du territoire et des ressources avait comme dénominateur commun le développement socio-économique. Cela veut dire que dans la mesure où un projet assurait un essor économique positif il n'y avait aucune résistance à sa réalisation. On négligeait des répercussions du projet sur l'environnement en disant qu'il était impossible d'en évaluer l'intensité (Couillard, 1975).

C'est alors que des chercheurs ont tenté de relever le défi en développant des méthodes d'évaluation d'impact. L'expérience ne fut pas des plus concluante. On est bien arrivé à développer quelques méthodes, pour la plupart américaines, mais on n'a pas encore fait l'unanimité autour d'une méthode standard. C'est ce qui fait dire à Warner (1974) qu'après cinq ans de tentatives plus ou moins fructueuses, les processus d'évaluation des impacts sont encore à l'état embryonnaire.

A notre avis, une des solutions au problème serait de se doter d'un cadre formel en matière d'évaluation et ensuite se tourner vers une approche "systémique" pour employer un néologisme récent (Barel, 1971), c'est-à-dire avoir recours de plus en plus à l'analyse de système. Cette mé-

thode permet de prendre en compte le plus grand nombre de relations possible dans le domaine intéressé, simultanément et dans leur globalité comme elles existent en fait dans la réalité. Par le biais de l'approche systémique, le gestionnaire devrait être en mesure de soupeser le pour et le contre d'un projet donné. En accord avec ces principes, on pourra développer des outils permettant de démocratiser et d'objectiver la prise de décision.

#### 1.4.1 Théorie de la décision

Il existe un malaise entre les gestionnaires du territoire et des ressources et les spécialistes (technocrates et scientifiques) en science environnementale au niveau de la perception de la problématique. Si, pour les spécialistes des sciences environnementales, il est évident que l'exploitation actuelle du milieu (territoire et ressources) est faite d'une façon abusive et demeure une menace croissante pour la qualité du milieu et l'assurance de la survie des systèmes actuels, l'évidence n'apparaît pas aussi probante pour le monde de la gestion, qui refuse d'accepter ce postulat en invoquant le principe qu'on ne peut pas actuellement mesurer précisément les torts causés à l'environnement. Pourtant ces mêmes gestionnaires gardent un doute sérieux au sujet de la non détérioration de l'environnement, ce doute se concrétisant par l'importance qu'on attache de plus en plus à l'aspect environnemental lors de la prise de décision. Pensons aux lois déjà mentionnées. Pensons qu'aux Etats-Unis on investit à coup de millions pour essayer d'évaluer les impacts environnementaux encourus par la gestion du territoire et des ressources (ex.: plus d'un million pour le projet de réservoir du lac Dickey).

On a déjà réalisé des études d'importance en matière d'évaluation d'impact; au-delà de quatre-vingt-sept (87) millions heures/homme ont été

investis dans le secteur. Au Canada, on s'oriente de la même façon au niveau d'Environnement Canada. Même au Québec, on commence à s'intéresser au problème avec le Service de Protection de l'Environnement (S.P.E.) et certains ministères-ressources, comme la Direction générale des Eaux au ministère des Richesses Naturelles qui s'est doté d'une équipe de spécialistes en matière d'évaluation d'impact écologique. C'est donc dire qu'il y a une prise de conscience qui s'intensifie. Il n'en demeure pas moins que les efforts sont à l'état embryonnaire et que l'impact environnemental n'est pas encore reconnu officiellement comme élément indispensable à la prise de décision.

Parmi les raisons qui pourraient justifier cette non-intégration au processus décisionnel, il faut mentionner que les responsables de la décision ne sont pas au fait du problème et souvent, qu'ils s'obstinent à croire que l'évaluation d'impact environnemental est équivalent à une tentative pour mesurer l'immesurable et que finalement, le processus décisionnel est un processus politique ou tout au plus un processus décisionnel classique.

#### 1.4.2 Le processus décisionnel classique

Le processus décisionnel actuel, quand il n'est pas politique, c'est-à-dire fortement orienté vers les avantages "économico-politiques" que peut procurer une décision, revêt un caractère classique d'une tolérance abusive. Ici l'on veut dire que les seules conséquences induites par une décision en matière environnementale prises en considération sont le cas où elles s'avèrent certaines ou tout au plus spécifiées par un niveau de probabilité relativement élevé. Cela implique que dans toutes les interventions aux conséquences incertaines, non spécifiées par un niveau de probabilité, ou encore dans celles où les conséquences sont inconnues, le processus décisionnel ignore la réalité de ces conséquences et y va pour l'intervention.

C'est ce qui a fait qu'on a posé énormément d'actions sans se soucier des répercussions éventuelles. Ce mode de décision est peut-être l'une des causes fondamentales des problèmes les plus aigus que l'on rencontre dans notre environnement d'aujourd'hui (D.D.T., mercure, radio-activité, etc...).

L'expérience a démontré que les conséquences incertaines et inconnues doivent faire partie intégrale du mécanisme de décision. En effet, sans cela, on fait une utilisation biaisée et limitée de la problématique environnementale en matière de décision.

#### 1.4.3 Mesurer l'immesurable

L'essence du problème en matière d'évaluation se situe à ce niveau: à savoir si l'on peut mesurer l'immesurable. Est-ce une utopie, une gageure ou une possibilité que l'on peut envisager sérieusement? Non, avec l'expérience acquise à l'INRS-Eau (Lépine, 1975) on peut affirmer qu'il est fortement possible en matière de décision environnementale ou scientifique de tenir compte des intangibles de l'immesurable.

En effet, il est justifié d'admettre la possibilité "d'objectiver" une prise de décision en matière de science environnementale, tout en tenant compte de ce qui a toujours été ignoré jusqu'à maintenant: les intangibles.

On n'a qu'à songer à la façon dont on fonctionne dans un grand magasin à l'achat d'un complet. Toutes sortes de critères défilent devant nos yeux, tout un système de valeurs et de pondérations, des conflits naissent; souvent tout cela se déroule bien inconsciemment. Que ce soit la valeur économique mise en cause (le coût versus la disponibilité), l'image que l'on veut offrir aux autres, la qualité technique, le talent du vendeur, voilà autant de paramètres souvent identifiables, dont nous tenons compte lors de

la décision. Malgré toutes ces contraintes, nous arrivons à hiérarchiser notre choix et à décider.

Le même contexte s'applique lors de certaines compétitions sportives où l'on détermine les vainqueurs à partir d'une rationalisation apportée au processus de choix. Ici, on réfère à toutes les compétitions dont on ne peut évaluer les performances par des résultats directement quantifiables, par exemple, les compétitions de patinage artistique, de gymnastique ou de plongeon.

Dans chacun des cas, il y a des juges (des experts), qui, à partir de certains critères (l'élégance, la souplesse, l'angle d'entrée dans l'eau, etc...) arrivent à évaluer une performance, et dans la majorité des cas, on peut remarquer une certaine homogénéité de la décision. Il arrive même qu'un profane, avec un peu de bonne volonté, évalue avec assez de précision une performance.

Ce mode d'évaluation est accepté à l'échelle mondiale, et ce n'est pas une affaire à la légère, quand on pense à l'ensemble des valeurs impliquées dans le système olympique, par exemple (valeurs morales, sportives, socio-politiques et économiques).

Il existe une certaine analogie entre l'intégration de "l'inquantifiable" et la gestion des biens culturels en matières décisionnelles. Quand le New-York Center Museum a payé 2.5 millions de dollars pour un Rembrandt, ce n'était certes pas une estimation de la valeur marchande du matériel impliqué (peinture, toile, cadre) mais plutôt une évaluation de l'inquantifiable. Cette décision fut pourtant admise mondialement: pas une cri-

tique, pas un politicien, pas un scientifique ne s'est élevé contre elle.

Si on est prêt à investir une telle somme pour s'approprier une toile, pourquoi s'obstine-t-on en matière de gestion du territoire et de sauvegarde de l'environnement à ne pas tenir compte de ce que l'on considère comme immesurable. Pourquoi n'arrive-t-on pas à mettre un "prix" à un arbre plusieurs fois centenaire, tandis que nous le faisons pour une peinture?

Ce comportement est sensiblement analogue à notre comportement quotidien et tant et aussi longtemps que l'environnement ne fera pas partie intégrante de notre système de valeurs personnelles, nationales et internationales, on se refusera de tenir compte des impacts environnementaux.

#### 1.4.4 Une échelle de valeurs erronnées en matière de gestion du territoire et des ressources

Les gestionnaires actuels qui prétendent se préoccuper de l'environnement, rationalisent leur démarche en matière d'évaluation d'impact en voulant tout ramener dans un système d'évaluation cardinal, où le dénominateur commun est la rentabilité économique. En d'autres termes, pour les gestionnaires, faire de l'évaluation d'impact, c'est tenter de démontrer le "prix" réel que représente une population de "ouananiches" une vallée glaciaire unique ou un peuplement de pruches exceptionnelles, en opposition avec la rentabilité d'une réalisation projetée: industrie papetière, barrage hydro-électrique ou barrage-réservoir. Ce n'est alors que la comparaison coût-bénéfices qui deviendrait facteur de décision. Bien que caricaturée, l'échelle de valeur actuelle est fautive, on ne peut pas songer à faire de l'évaluation d'impact à partir d'un système d'évaluation cardinal. La solution réside en la possibilité de passer dans un système de valeurs ordinal.

Ce n'est qu'à cette condition que l'on peut espérer arriver à mesurer des impacts environnementaux. Les avantages du système ordinal nous permettent de classer, d'ordonner et de comparer des choses ou des phénomènes qui, à priori, nous apparaissent immesurables dans un système cardinal.

Si l'on considère que le problème fondamental pour le gestionnaire en est un de choix, il est continuellement confronté devant une multitude de décisions, à savoir s'il doit faire ou ne pas faire telle ou telle réalisation, s'il doit, devant un problème où il existe plusieurs solutions possibles, choisir la solution "optimale", compte tenu des contraintes imposées à son milieu de gestion. Devant ce dilemme, les technocrates se sont ingénies à mettre au point des systèmes d'aide à la décision. Ces systèmes permettent une optimisation de la prise de décision tout en étant imprégnés d'une recherche de "l'objectivité". Ces systèmes devront jouer le rôle d'une balance, où pour une situation donnée on peut "peser" (évaluer) le poids de chacun des paramètres impliqués. Ce n'est qu'après coup qu'on est à même de classer les solutions possibles et c'est là le but ultime de l'évaluation d'impact: classer les solutions.

On pourra toujours critiquer la précision de la balance, mais ce n'est pas là le point important. On ne veut pas avoir le poids exact de tel impact (échelle cardinale), mais on veut plutôt classer les impacts (échelle ordinale) afin d'optimiser les échanges homme-milieu. A ce moment là, même si l'on pèse avec une balance mal étalonnée, on répétera la même erreur à chaque fois, mais le classement restera toujours dans le même ordre et c'est ça qui est important pour le décideur. Ce besoin de classer rejoint bien l'objectif de la statistique non paramétrique en échelle ordinale. Ce n'est pas tout de faire cette mutation dans l'échelle des valeurs,

c'est-à-dire passer de l'échelle cardinale à l'échelle ordinale, mais il faudra aussi se doter d'un cadre formel en matière d'évaluation d'impact.

#### 1.4.5 Il faut un cadre formel pour faire de l'évaluation d'impact

Le problème que représente l'évaluation d'impact n'en est pas un uniquement de méthodes, mais aussi de principes. Tant et aussi longtemps qu'il n'existera pas un cadre formel intégrant les principes, les lois et les normes qui régissent l'environnement, les méthodes quelles qu'elles soient apparaîtront inadéquates. D'une manière générale, on admet que pour chaque système existant règne un domaine de stabilité à l'intérieur duquel certains changements ne menacent aucunement l'équilibre du système.

Lorsqu'on veut faire de l'évaluation d'impact, c'est ce domaine de stabilité que l'on veut définir, après quoi, pour faire de l'évaluation, il s'agit tout simplement de voir si le domaine est respecté, compte tenu de l'utilisation que l'on fait ou que l'on veut faire du système.

Le domaine de stabilité n'est pas une frontière artificielle, dépendamment des systèmes impliqués (environnemental, politique, social). Il peut se définir par certaines lois, par certains principes ou normes lesquels sont le plus souvent connus et définis par les sciences impliquées. Au cours des lignes qui vont suivre, nous soulignerons quelques principes élémentaires en matière environnementale qui pourraient servir de cadre formel en évaluation d'impact.

##### 1.4.5.1 La stabilité

Comme l'avaient bien énoncé Holling et Goldberg (1971) les systèmes environnementaux sont dans un état d'équilibre qui évolue dans le

temps, sur des échelles chronologiques souvent très grandes (siècles, millénaires), les modifications physiques, chimiques et biologiques amènent un déplacement continu de l'équilibre du système (fig. 3). Il appert que les interventions humaines peuvent modifier considérablement l'échelle chronologique des déplacements naturels de l'équilibre des systèmes. Plusieurs scientifiques se sont penchés sur la possibilité d'évaluer la stabilité de systèmes biologiques (Federov et Sokolova (1972), Usher et Williamson (1973), May (1971)).

Voilà un principe que toutes les interventions sur le milieu devraient respecter, compte tenu du fait que tous les systèmes environnementaux sont ouverts les uns sur les autres.

#### 1.4.5.2 La diversité

Ce concept emprunté à l'écologie peut servir lui aussi de ligne guide à l'évaluation d'impact. Ce qui veut dire que toute stratégie ayant des répercussions environnementales devrait considérer l'intégrité de la diversité physique et biologique des systèmes existants. Ceci implique que toutes les réalisations devraient viser systématiquement à préserver les espèces, les systèmes d'espèces, les types d'habitats sans avoir à définir leurs besoins ou leur rentabilité économique. Cette attitude en matière d'intervention viserait, selon Bella (1974), à préserver les options environnementales permettant ainsi un potentiel d'ajustement plus grand aux impacts inattendus.

#### 1.4.5.3 L'irréversibilité

Toute action impliquant des répercussions environnementales devrait être conçue de façon à éviter l'entraînement des changements irréver-

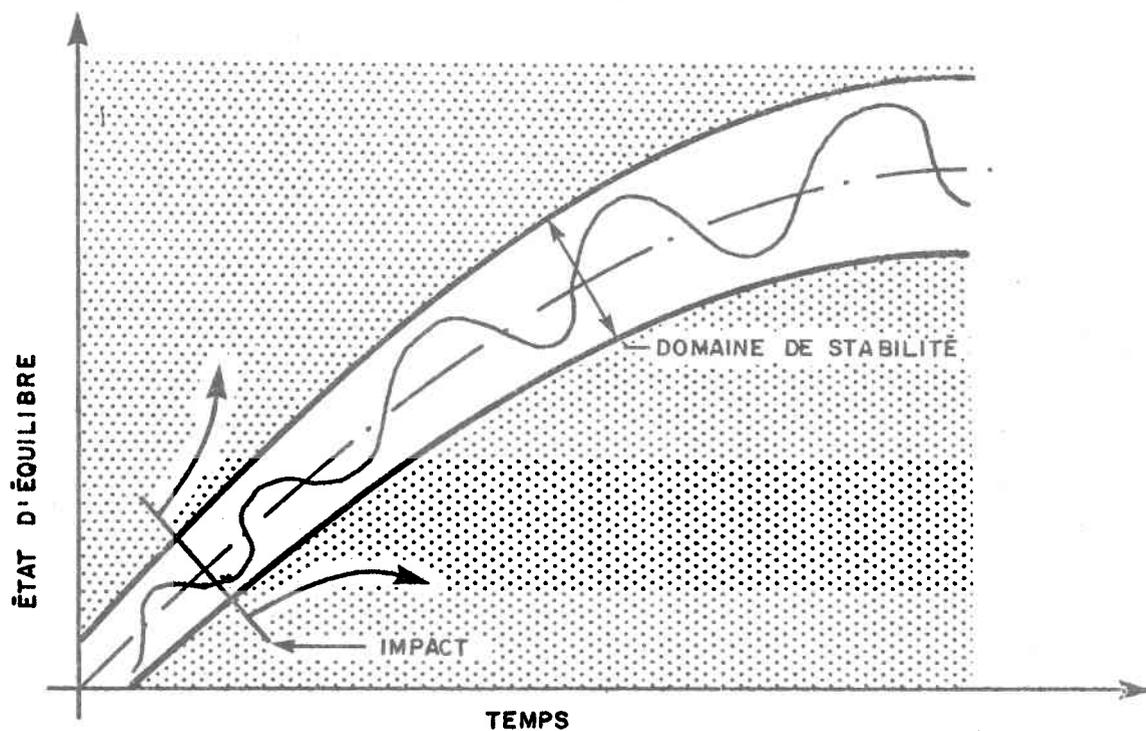


Fig. 3. Représentation schématique d'une séquence de valeur d'équilibre évoluant selon une trajectoire stable.

sibles à grande échelle dans les systèmes environnementaux. Comme Bella (1974) l'a clairement énoncé, il y a certaines interventions qui peuvent entraîner la disparition d'espèces, d'ensembles d'espèces et de types d'habitat avant que leur importance soit reconnue. Il peut arriver aussi qu'un ensemble de conditions détériorantes peut être suffisamment répandu avant qu'elles soient détectées pour qu'il soit impossible de les corriger vu que leur condition entraîne des risques encore plus graves de détérioration. Les changements catastrophiques des systèmes environnementaux deviennent tellement répandus et ils sont tels que la société dépend maintenant d'eux pour survivre (Ex.: l'utilisation accrue des pesticides pour supporter une population croissante d'êtres humains).

#### 1.4.5.4 L'unicité

Toute intervention menaçant l'unicité d'un système devrait être à proscrire. On devrait faire tout ce qui est en notre pouvoir pour sauvegarder les phénomènes uniques, non pas pour des raisons de potentiel économique que revêt un "objet" rare, mais bien plus, pour une raison de morale environnementale. On est prêt à engloutir des fortunes pour sauver une oeuvre d'art, pourquoi ne le ferions-nous pas pour notre environnement?

Voilà quelques concepts fondamentaux qui devraient servir de cadre formel entourant le processus décisionnel en matière d'intervention sur le milieu. Ce n'est que dans la mesure où l'on acceptera de respecter ces quelques principes de base que l'on pourra sérieusement tenir compte des répercussions environnementales de nos interventions.

#### 1.4.6 L'évaluation d'impact intégrée dans le processus de gestion

L'approche par système, telle que nous la percevons, s'applique à

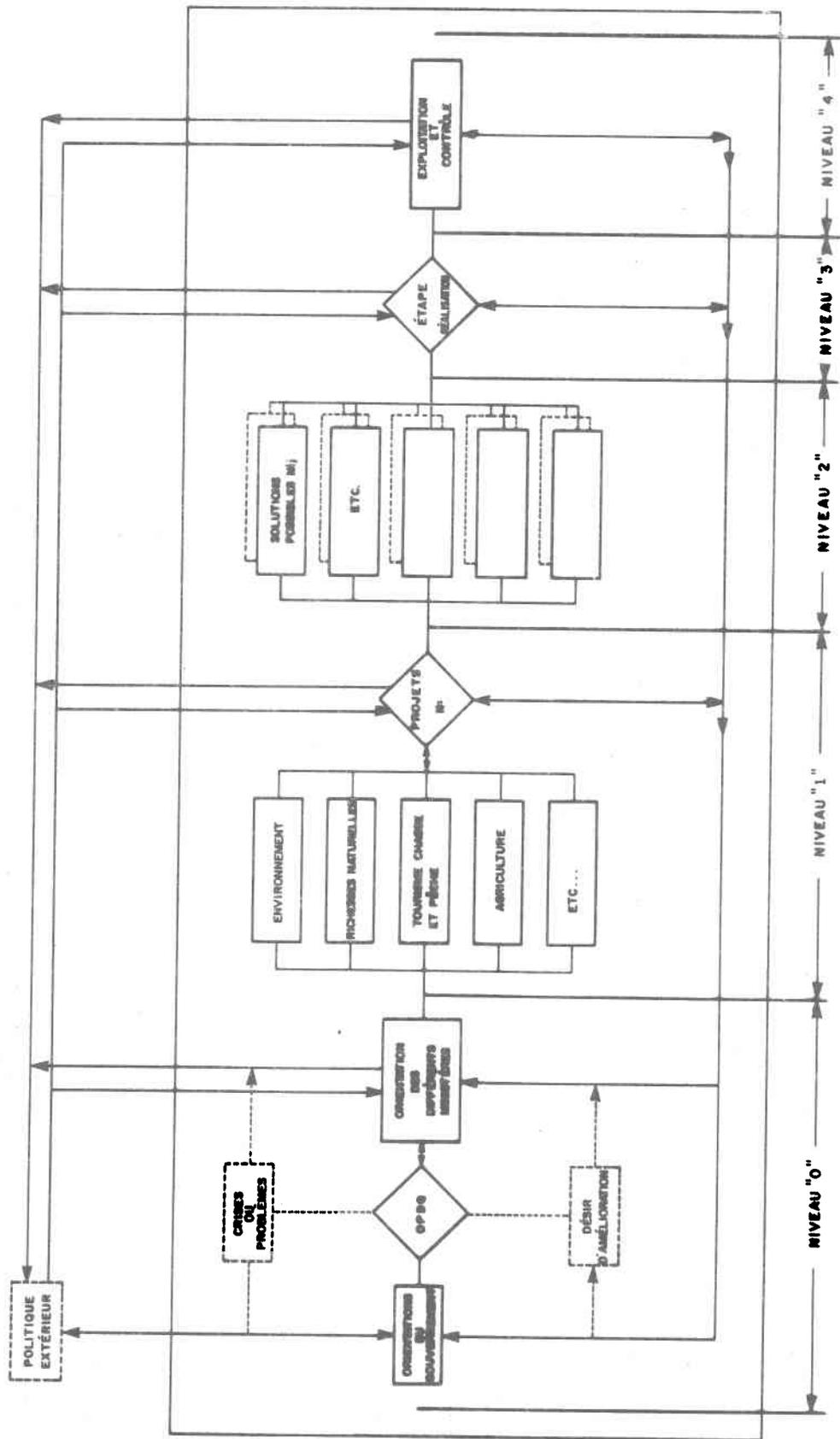
tous les niveaux de gestion. Nous tenterons de démontrer cette applicabilité en matière de gestion du territoire et des ressources. Ce n'est qu'à travers cette approche qu'il nous sera permis de faire objectivement de l'évaluation d'impact; sans cette approche systémique nous risquons de travailler avec des oeillères et de tomber dans le panneau de la "sectorialisation" sur le plan décisionnel.

Si on se réfère au modèle théorique de la gestion au Québec (fig. 4), nous pouvons identifier cinq (5) niveaux d'évaluation d'impact distincts aux composantes spatiales différentes.

Le niveau "0" implique une approche horizontale de l'évaluation d'impact. A ce niveau de gestion, elle revêt un caractère plus global; il ne s'agit pas alors de faire ressortir toutes les composantes d'un impact, mais simplement de démontrer que pour telle ou telle orientation du gouvernement en matière de gestion du territoire il y a un impact possible. Déjà, à ce niveau décisionnel il importe, fortement, d'instaurer une approche objective pour le choix des politiques, et cette objectivité en matière de sélection ne peut être atteinte qu'à travers une analyse sérieuse des multiples impacts impliqués par une politique donnée. C'est en quelque sorte une forme d'éclairage qui représenterait l'évaluation d'impact pour les décideurs. Une fois les orientations du gestionnaire établies, elles servent de lignes-guides à l'orientation des différents ministères. - Pour chacun des niveaux d'analyse d'impact, il y a un principe qui doit ressortir: le respect des niveaux amonts dans la décision, ce qui voudrait dire que pour une solution " $N_{ij}$ " d'un projet il y aurait entière compatibilité avec les orientations préalablement fixées au niveau "0". En fait, le niveau "0" devient le

FIGURE 4

**MODÈLE THÉORIQUE DE LA GESTION DU TERRITOIRE ET DES RESSOURCES AU QUÉBEC**



grand cadre de gestion du territoire et des ressources à l'intérieur duquel se dessineront toutes les actions intentées sur le milieu.

Le niveau "1" où se traduisent les problèmes et perpétuel désir d'améliorer la qualité de la vie en "projets" doit lui aussi faire appel à l'évaluation d'impact, dans un premier temps pour s'assurer de la pertinence avec les politiques établies et dans un deuxième temps pour classer les projets en priorités. Au niveau "2", on fera l'analyse des impacts pour chacune des solutions possibles pour un projet donné afin de choisir la solution optimale. Les niveaux "3" et "4" deviennent encore plus spécifiques et visent la bonne marche de la réalisation et de l'exploitation à travers le respect de l'équilibre des systèmes déjà en place.

#### 1.4.6.1 Reconsidérer notre concept d'évaluation

Jusqu'à maintenant, les principaux niveaux intéressés par l'évaluation d'impact étaient les niveaux "2" et "3", où souvent pour une solution déjà choisie on voulait connaître les multiples impacts sans se soucier de l'évaluation des autres niveaux. En fait, ce que l'on faisait, c'était de ne tenir compte que d'une partie du processus de gestion et ce non-respect de l'ensemble du processus global de gestion débouche inévitablement sur une méthodologie d'évaluation boiteuse.

Ce que nous proposons ici, c'est qu'un effort constant d'évaluation soit fait à tous les niveaux avec une intensité et une spécialité différentes. Ce qui pourrait permettre, en respectant le principe de rétroaction entre les niveaux, de remettre en question les causes dans le processus "causes-conditions-effets-causes". En fait, notre approche implique une étape évaluation pour chacun des niveaux de gestion.

{ A Niveau d'évaluation "0" B Niveau d'évaluation "1" C Niveau d'évaluation "2" D Niveau d'évaluation "3" E Niveau d'évaluation "4"         }	Equivaut à l'étape de gestion	{ A' Grandes orientations B' Connaissance C' Affectation D' Aménagement E' Contrôle         }
--	----------------------------------	--

#### 1.4.6.2 Un scénario d'évaluation en matière de gestion

Pour bien comprendre comment peut s'imbriquer le processus de l'évaluation d'impact à travers l'appareil de gestion gouvernemental, on a proposé un scénario de développement pour une région donnée (fig. 5).

##### Niveau "0"

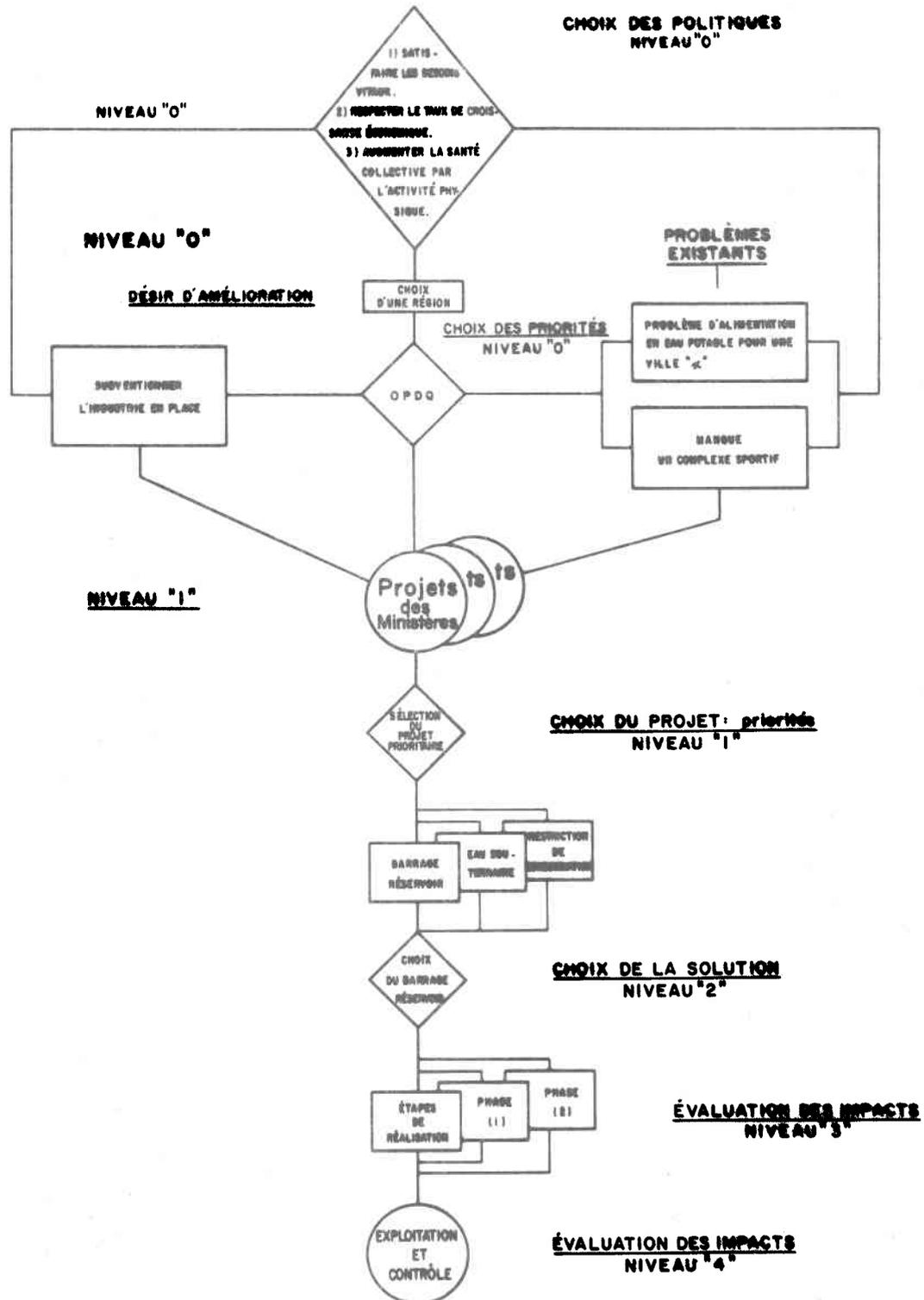
A ce niveau, on doit retrouver les grandes politiques d'un gouvernement, lesquelles peuvent être fort nombreuses et demandent à être classées en priorité. Pour les besoins de la cause, nous en avons retenu trois:

- 1) Satisfaire les besoins vitaux de la population;
- 2) Respecter le taux de croissance économique en cours;
- 3) Augmenter la santé collective par l'activité physique.

Pour chacune de ces orientations, on peut associer des problèmes et des besoins qui peuvent exister dans une région, par exemple il peut arriver que pour le territoire intéressé on ait un problème d'alimentation en eau potable, il peut exister aussi une lacune au niveau des infrastructures sportives (piscine, aréna, etc...), de même qu'il peut arriver que le secteur industriel soit défavorisé et qu'il ait besoin de subventions pour renouveler son équipement, améliorer son rendement, etc...

FIGURE 5

EXEMPLE D'UN SCÉNARIO D'ÉVALUATION EN MATIÈRE DE GESTION



En admettant que chacun de ces projets ait un coût unitaire quasi identique, mais qu'il n'existe qu'un seul montant disponible, il y a encore matière à classement au niveau des priorités.

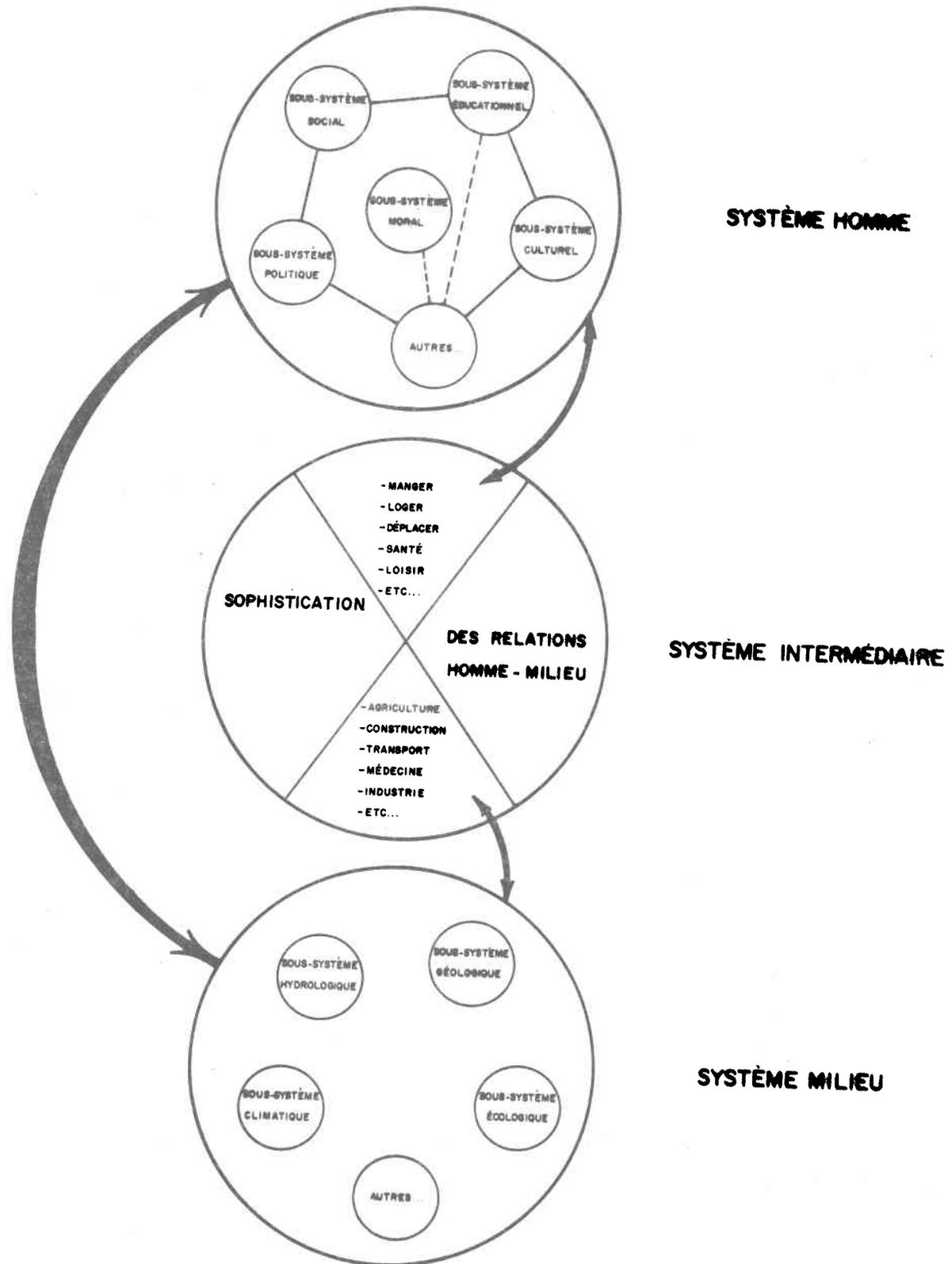
Retenons le cas où l'alimentation en eau potable soit sélectionnée, il existe quand-même à ce niveau un éventail de solutions au problème (création d'un barrage-réservoir, alimentation à partir de la nappe phréatique, optimisation de l'utilisation actuelle), chacune d'elles ayant des impacts multiples et différents. Supposons que la création d'un barrage-réservoir s'avère la solution optimale, il faut choisir le site le plus adéquat tout en identifiant les impacts impliqués par la construction et cherchant à limiter les impacts négatifs. Une fois la construction faite, il faut établir un mode d'opération et de contrôle ayant soin de minimiser les impacts négatifs sur les utilisateurs amont et aval de la ressource.

Voilà une situation où la fiction n'est peut-être pas loin de la réalité. A chaque fois que l'on retrouve à travers le scénario une décision impliquant une sélection ou un choix, il y a matière à évaluation afin d'objectiver la décision.

#### 1.5 Les aspects à évaluer

Comme on l'a vu en matière de gestion du territoire et des ressources, il y a de nombreux niveaux de décisions impliqués. Pour chacun des niveaux décisionnels, il se dégage un ensemble d'impacts pour chacun des systèmes impliqués. La nature ou l'ampleur des impacts ne dépend que du niveau d'évaluation mis en cause. Il n'en demeure pas moins que pour chacun des niveaux décisionnels identifiés (niveau "0" à "4") on peut déceler des répercussions sur les systèmes homme-milieu, ainsi que sur le système intermédiaire (système de sophistication) (fig. 6). Ce qui veut dire que pour

**Figure 6 .**  
**SUPRA - SYSTÈME**



chaque décision prise aux différents niveaux de gestion, il existe systématiquement des répercussions sur chacun des systèmes. Ces répercussions peuvent être classées en impact social, économique et technique et ce n'est que dans la mesure où on tiendra compte de ces trois aspects à travers le processus d'évaluation qu'on pourra espérer une prise de décision objective.

#### 1.5.1 L'aspect social

Pour évaluer l'aspect social d'une décision en matière de gestion du territoire, il faut déceler les répercussions au niveau des différents sous-systèmes-homme (politique, social, culturel, etc...). Cet aspect de la décision fut longtemps négligé lors de l'évaluation des projets et c'est fort déplorable, parce que tous les efforts de gestion au niveau du territoire sont sensés être orientés dans un but commun: conserver et augmenter la qualité de la vie tout en assurant la sauvegarde de l'espèce dans le respect de l'environnement. Cela veut dire que peu importe le niveau décisionnel d'une intervention, il faut s'assurer que les gens impliqués de près ou de loin soient informés du projet. Dans un deuxième temps, les gens devraient être consultés pour éventuellement être invités à participer à la décision. Evidemment, cette philosophie de l'information, consultation et participation s'avère assez révolutionnaire en matière de gestion des biens publics. Le processus de participation-consultation, pour l'aménagement de l'éventuel centre-ville de Ste-Foy et l'action concertée Adour à l'intérieur de l'agence de bassin Adour-Garonne, sont des exemples fort intéressants de l'intégration sociale au processus de gestion du territoire et des ressources. Cela n'empêche pas qu'elle se présente comme une alternative fort logique au mode de gestion traditionnelle où une équipe de politiciens qu'on a élus pour un mandat limité peuvent, à l'intérieur de ce mandat, hypothé-

quer sur le plan économique et environnemental tout un peuple pour plusieurs générations à venir. C'est ce que l'on peut appeler de l'abus de pouvoir et on croit qu'à tous les niveaux de gestion il devrait y avoir une évaluation de l'impact social, occasionné par la décision.

Plusieurs facteurs contribuent à motiver ce changement d'attitude, l'un d'entre eux est le sentiment toujours croissant de frustration et d'aliénation de l'individu face au processus décisionnel. Ajoutez à cela le niveau d'instruction toujours plus élevé, la prise de conscience et les aspirations du public stimulées par les organes d'information, voilà autant de raisons d'introduire l'aspect social comme élément d'aide à la décision.

#### 1.5.2 L'aspect économique

L'importance traditionnelle qu'on a toujours accordée à l'aspect économique en matière de décision ne doit pas être écartée par l'approche systémique. Par contre, elle doit dépasser la simple analyse coût-bénéfice traditionnelle qui s'avère encore fort justifiable à certains niveaux de gestion. Il n'en demeure pas moins que pour le niveau de gestion "0" (fig. 4), l'aspect économique d'une décision doit être pris dans un sens large, allant même jusqu'à s'interroger sur les fondements du système économique en place (système pris dans son sens politique).

Comme Joël de Rosnay (1975) l'a abordé dans son analyse systémique "Le Macroscopie", la fonction économique de la société humaine prise au sens large, devient la production de biens permettant la satisfaction des besoins des hommes. C'est ce qui a amené l'homme à produire des biens en quantité toujours plus élevée sur une échelle toujours plus vaste, et ce, en puisant inévitablement à même les réserves environnementales (territoire,

ressources, énergie). Cette perpétuelle insatisfaction des besoins de l'homme "économique" (l'homo economicus) s'explique peut-être par son "sens même qui nous le fait apparaître comme un être vide et sans âme, mu par des mobiles rudimentaires et tout juste capable de s'adapter aux forces du marché (René Passet, 1974). Si l'on considère en plus que les systèmes artificiels (créés par l'homme) où la nature est exclue et où l'on ignore la valeur irréversible des flux énergétiques pour la reproduction d'un travail, il faut que les décideurs soient sur leurs gardes lors de la prise de décision pour ne pas jurer que par l'aspect économique. Il ne faut pas perdre de vue que les systèmes économiques sont des systèmes artificiels qui stimulent constamment la sophistication des relations homme-milieu; il ne faut pas non plus oublier que tout le développement économique est indissociable à l'exploitation et la domination du système milieu, lequel est physiquement régi par une multitude de contingentements (lois, normes et principes).

Peu importe la théorie évolutive choisie (déterminisme, fatalisme ou autre), il n'en demeure pas moins que l'homme peut orchestrer la sophistication de ses relations homme-milieu dans un espoir de les "optimiser" ou de les "maximiser" selon sa bonne volonté.

### 1.5.3 L'aspect technique

L'évaluation de l'aspect technique des relations homme-milieu vient mettre en évidence les multiples impacts occasionnés par la sophistication des relations à travers le système intermédiaire sur le milieu. Ici le rôle de l'évaluation est d'abord d'identifier, au niveau de chaque sous-système (milieu), les impacts relatifs à une intervention donnée. Cette

étape de l'évaluation en est une prioritaire et fait appel à une multitude de connaissances scientifiques souvent d'origine différente, mais quand même très dépendantes les unes des autres. On reproche souvent aux systèmes d'évaluation d'être trop compliqués, c'est-à-dire de tenir compte de trop de notions en même temps; mais l'expert en évaluation d'impact ne peut se permettre de négliger une relation dans son travail, étant donné l'interaction entre tous les sous-systèmes qui sont ouverts les uns sur les autres. Le fait d'ignorer une relation peut vouloir dire mettre en péril un système et cette pratique peut devenir une menace pour la survie de l'homme à brève échéance.

La pratique a quand même démontré une incompatibilité entre l'évaluation économique et l'évaluation technique. Dans le cas où, dans un système économique, on doute de la rentabilité d'une action, habituellement on ne se hasarde pas, surtout si cette action relève du domaine public ou parapublic (exemple: l'usine Tricofil), par ailleurs, en matière d'environnement, le "doute" n'est jamais respecté et cette attitude constitue une autre menace à l'équilibre des systèmes (exemple: DDT, PCB, déchets radioactifs). Ajoutez à cela l'incompatibilité scientifique qui existe trop souvent entre la formation et les connaissances du décideur et la nature des aspects impliqués dans la décision.

C'est pourquoi il importe de mettre au point des méthodes permettant de faire sérieusement de l'évaluation d'impact. Ces méthodes devront être objectives, flexibles et intégrales, c'est-à-dire pouvoir tenir compte des aspects techniques, économiques et sociaux entourant une décision.

## 1.6 Les méthodes d'évaluation existantes

Il existe un bon nombre de méthodes pouvant être utilisées à des fins d'évaluation. La plupart de ces méthodes sont d'origine américaine et ont été développées pour les besoins de la gestion des secteurs de pointe (recherche spatiale, industrie à haute technologie, stratégie militaire et aménagement du territoire). La gamme des techniques américaines est très diversifiée, allant des méthodes statistiques les plus rigoureuses (l'analyse de variance, la simulation, la probabilité à priori) jusqu'à celles dites discontinues (méthode de créativité, futurologie et même science fiction), incluant les méthodes plus classiques comme la cartographie et les méthodes matricielles. L'existence de ces nombreuses techniques confirme le fait que l'on sent le besoin de faire de l'évaluation d'impact et qu'il y a encore place à la recherche et l'expérimentation pour déboucher sur une méthode standard.

Le tableau 1 illustre bien les grandes catégories, les méthodes les plus fréquemment employées en gestion du territoire et des ressources.

Comme l'a fait remarquer Tenière Buchot (1972), concernant les diverses méthodes d'évaluation existantes, elles convergent toutes vers un même but: prédire le comportement des systèmes par rapport à une action donnée. Mais il existe un problème majeur entourant l'ensemble de ces méthodes, soit leur caractère limitatif. Chacune de ces techniques a été utilisée en évaluation d'impact au niveau d'un type de projet donné (super-port, développement côtier, etc...). Cette spécificité des méthodes débouche sur un éventail d'handicaps, que ce soit la limite spatiale des matrices bi-dimensionnelles ou la non applicabilité des méthodes statistiques en matière d'évaluation d'impact social, ou le caractère limité des

TABLEAU 1: Aperçu des méthodes existantes

Méthode	Applicabilité	Remarques
Liste de contrôle	Méthodes où le plus souvent, on a une liste de paramètres fixes qu'on évalue en regard de ce que l'on peut retrouver dans l'environnement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Méthodes très normatives incluant une possibilité de pondération des paramètres impliqués.</li> <li>- Méthodes pouvant inclure différents aspects à évaluer:               <ul style="list-style-type: none"> <li>-Ecologique</li> <li>-Economique</li> <li>-Sociale</li> </ul> </li> </ul>
Méthode matricielle	Méthode où l'on peut mettre en relation les répercussions d'un projet en terme de relations directes ou indirectes ou majeures et mineures. Il peut arriver qu'on ait défini au préalable les relations possiblement existantes, il ne suffit alors qu'en évaluer l'intensité.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Le plan bidimensionnel constitue jusqu'à un certain point une limite d'applicabilité.</li> <li>- Méthodes moyennement reproductibles.</li> </ul>
Méthode cartographique	Méthodes pertinente surtout aux projets d'autoroutes.  Les méthodes doivent être considérées comme inaptes à quantifier les répercussions et les identifier explicitement.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ces méthodes nécessitent un entraînement particulier pour les analystes.</li> <li>- Il est possible d'utiliser la cartographie automatique dans ces méthodes.</li> </ul>
Méthode des réseaux	Méthodes établissant un enchaînement cause-condition.  Le champ d'évaluation peut être diversifié.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La reproductibilité des méthodes est apparemment faible.</li> <li>- Méthodes permettant d'identifier les chemins par lesquels se produisent les répercussions.</li> </ul>

TABLEAU 1: Aperçu des méthodes existantes (SUITE)

Méthode	Applicabilité	Remarques
Méthodes statistiques	Ce sont plus des méthodes de prévision que des méthodes purement d'évaluation d'impact.	- Bien que pertinent à certain champ d'évaluation. Ces méthodes sont plutôt limitées lorsqu'on pense à l'évaluation sociale.
La méthode DELPHI	Méthodes procédant plus de l'intuitif que du rationnel, ce sont en quelque sorte des formes de subjectivité contrôlées.	- Les méthodes peuvent aussi bien avoir un domaine d'application général que sectoriel.
Méthode des scénarios et représentation contextuelle	Les scénarios et la représentation contextuelle procèdent beaucoup de l'intuition des auteurs. Ces méthodes gardent quand même un caractère rationnel.	- Faible représentation scientifique. - Le domaine d'application est général et souvent vague et s'attache surtout aux domaines politiques et sociaux.
Les méthodes de créativité	Ces méthodes concernent presque exclusivement le domaine de l'intuition.  Le but de ces méthodes est d'arriver à contrôler, à diriger l'intuition vers une application pratique.	- L'orientation des méthodes de créativité est essentiellement exploratoire.  - Les techniques de créativité s'appliquent mieux à des domaines assez limités et précis qu'à des domaines plus vastes.

méthodes cartographiques. Idéalement, ce qu'il faudrait, c'est une méthode simple ayant une souplesse d'adaptation à tous les genres de systèmes (homme, milieu ou intermédiaires) pouvant permettre une pondération sans pour autant être limité par un caractère trop normatif. Il faudrait que l'intuition ait sa place au même titre que la logique, dans la démarche. Cette méthode devrait avoir un aspect visuel intéressant afin de permettre aux décideurs et aux profanes de se rendre compte des multiples impacts impliqués. Ce qu'il faudrait en somme, ce n'est pas une méthodologie bien arrêtée avec des normes et des principes auxquels il ne faut pas déroger, mais plutôt une ligne-guide permettant l'identification et l'évaluation des différents impacts.

Cette approche de base, plus intuitive que normative au départ, pourrait déboucher éventuellement avec la pratique sur une méthode bien arrêtée.

C'est dans cette optique que nous avons orienté notre étude: la mise au point d'une méthode d'évaluation d'impact la plus universelle possible.

#### 1.7 La méthode proposée

La méthode proposée se veut jusqu'à un certain point un composite de plusieurs techniques, dont la charpente principale serait le graphe de cohérence. Le grand principe du graphe de cohérence est basé sur la décomposition graduelle et de plus en plus détaillée de l'action. En fait, 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 (Lépine, 1975).

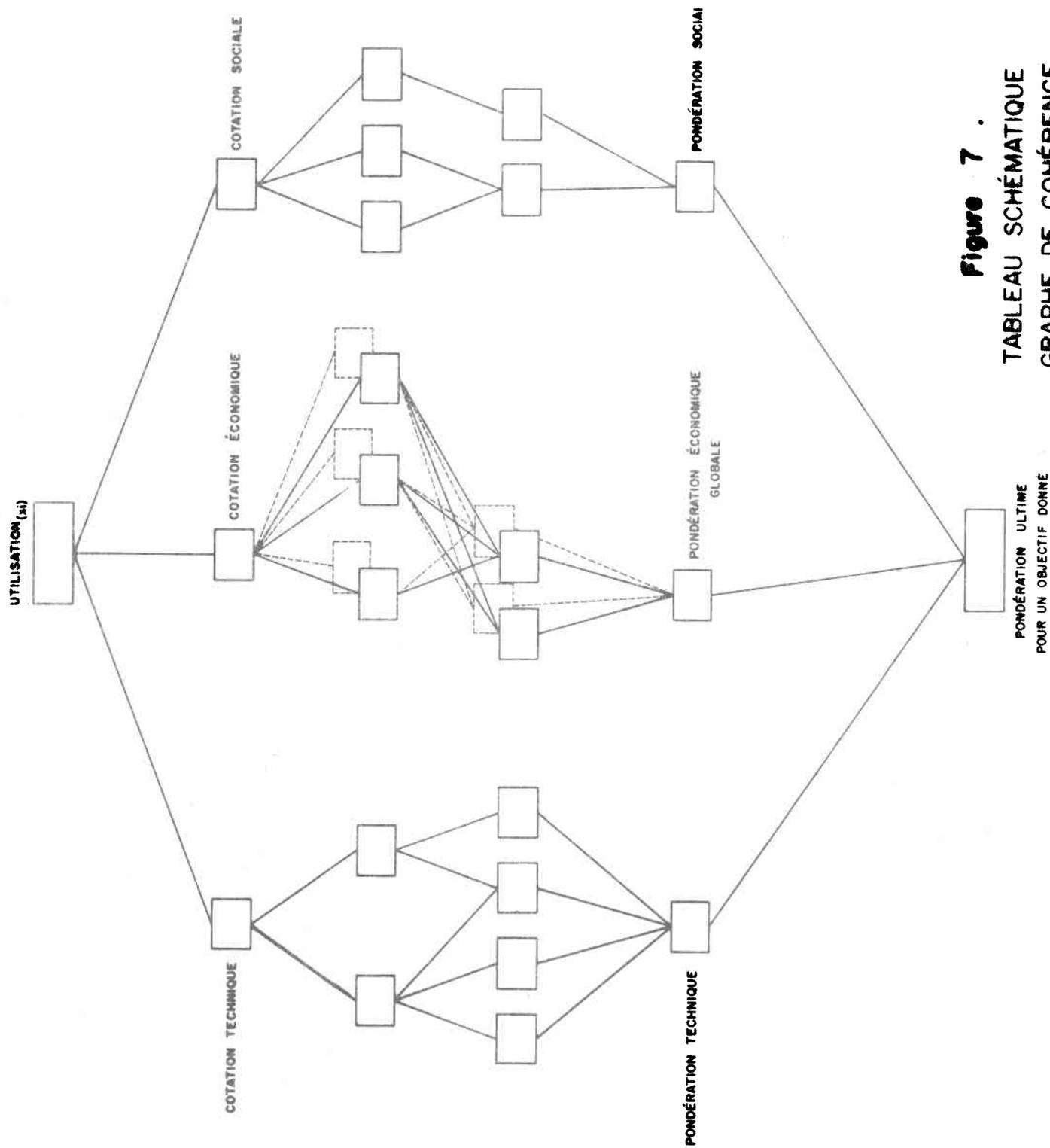
### 1.7.1 La théorie du graphe de cohérence

L'essentiel de la théorie consiste à reporter sur un graphe à plusieurs niveaux (fig. 7), les causes, les conditions et les effets qu'occasionne une action. Le premier principe sera la décomposition de l'action de bas en haut en niveaux, à partir du premier niveau des composantes jusqu'au dernier niveau des résultantes de l'action. L'interrelation progresse d'un niveau inférieur à un niveau supérieur (niveau "1" vers le niveau "n"). Chacun des éléments des différents niveaux est relié par des arcs à un ou plusieurs éléments des niveaux supérieurs. La qualité du passage d'un niveau à un niveau supérieur pourra faire éventuellement l'objet d'une évaluation chiffrée. Ce qui importe le plus dans l'application de la théorie c'est d'identifier correctement les indicateurs utilisés et de s'assurer de la cohérence entre les indicateurs d'un même niveau.

Il peut arriver, que, pour les besoins d'une meilleure compréhension, on introduise un ou plusieurs niveaux additionnels afin d'explicitier davantage les relations cause-condition-effet. Evidemment, le nombre de niveaux doit être limité pour ne pas surcharger le schéma. Comme plusieurs autres méthodes (les méthodes matricielles) il est souhaitable que le graphe soit accompagné d'un texte explicitant les multiples relations mises en cause.

### 1.7.2 L'aspect multi-dimensionnel du graphe de cohérence

Comme l'a mentionné Lépine (1975), le graphe de cohérence offre une plus grande dimension que le système matriciel qui ne peut prendre les relations que deux à deux. Le graphe de cohérence offre la possibilité, sur un même plan, de mettre plusieurs niveaux en relation (cause-condition-effet) et même de joindre plusieurs plans ensemble (fig. 7). L'utilité de cet as-



**Figure 7 .**  
**TABEAU SCHEMATIQUE**  
**GRAPHE DE COMERENCE**

pect multi-dimensionnel se retrouve dans le cas où un impact implique deux ou plusieurs grandes composantes spatiales ou temporelles. Si on prend l'exemple de l'annexe 1, où on a démontré l'importance de l'impact économique des usines de pâtes et papiers du bassin de la rivière St-François, on arrive rapidement à la conclusion qu'il faut deux graphes, un pour décrire l'impact local et l'autre pour l'impact régional. Ensuite, rien ne nous empêche d'unir les deux graphes en un impact économique global.

### 1.7.3 La notation des liens unissant les différents éléments

Un autre intérêt de la méthode du graphe de cohérence réside en la possibilité d'apposer une note chiffrée à titre d'indicateur de la qualité et de l'intensité des liens mis en cause. Il faut envisager plusieurs méthodes différentes de notation, compte tenu des systèmes impliqués et de la nature des paramètres.

Dans le meilleur des cas, les deux variables reliées par un arc sont mesurables et une loi peut relier leur évolution. A ce moment, on pourra obtenir une relation du genre:

$$A = f ( B )$$

Souvent, il n'y a pas de loi connue et les variables ne sont pas mesurables. C'est alors qu'il faut passer à une échelle ordinale (voir paragraphe 1.4.4). Pour y arriver on peut utiliser plusieurs méthodes. Pour en nommer quelques unes, citons le modèle qualité mis au point par Provencher (1977) et la méthode Delphi, ou la subjectivité contrôlée, ainsi que la méthode utilisée par Morin et Trudel (1976).

### 1.7.3.1 La notation dans le système Provencher

Pour les besoins du modèle, on a relevé la liste des paramètres qualité associés à diverses fonctions d'utilisation de la ressource. Une fois cette liste dressée, on a une pondération pour chacun des paramètres, tel que la somme des valeurs adjudgées égale à (1).

Ex: <u>Paramètre pour la qualité générale de l'eau</u>			
<u>Paramètre</u>	<u>Unités</u>	<u>Pondération</u>	<u>Norme</u>
		$\Sigma = 1$	
Solides totaux	mg/l.	.073	300
Température	°C	.100	-4.5, 3.4
Turbidité	J.T.U.*	.082	21.5
Coli-fécaux	org./100 m.	.158	18
D.B.O.	mg/l.	.105	3.8
Nitrates	mg/l.	.100	6
Oxygène dissous	O/O sat.	.172	60., 150
pH	limités	.111	6.0, 8.7
phosphates	mg/l.	.100	.5

Note: valeurs basées sur les travaux de fabrication d'un index de qualité fait par National Sanitation Fondation (EPA 907-9-74-001) février 1974)

Cette pondération peut être tirée de la littérature ou établie à partir d'une consultation d'experts. On arrive, par la pondération, à classer les paramètres en ordre d'importance en vertu d'une utilisation donnée.

\*

Jackson Turbidity Unit

Dans un deuxième temps, on trace une courbe de fonction qualité pour chacun des paramètres (fig. 8), après quoi, pour avoir la note, on prend la lecture sur l'abscisse et l'on va chercher la fonction qualité sur l'ordonnée. Ensuite, soit que l'on multiplie par la pondération ou que l'on élève à la puissance équivalent à la pondération, ainsi on aura la note pour le paramètre en question.

a) Notation par la méthode additive

$$\text{Note } i: \quad \Sigma_i = P_i (fQ_i)$$

où:

$P_i$  = pondération pour le paramètre (i)

$(fQ_i)$  = fonction qualité pour le paramètre (i)

note i: notation de la qualité de l'eau pour tout le paramètre (i) sur une échelle de 0 à 100

b) Notation par la méthode multiplicative

$$\text{Note}_i = \Pi (fQ_i)^{P_i}$$

où:

$P_i$  = pondération pour le paramètre (i)

$(fQ_i)$  = fonction qualité pour le paramètre (i)

Dans les deux cas, le résultat est sur cent (100) et cent pris sur une échelle ordinale.

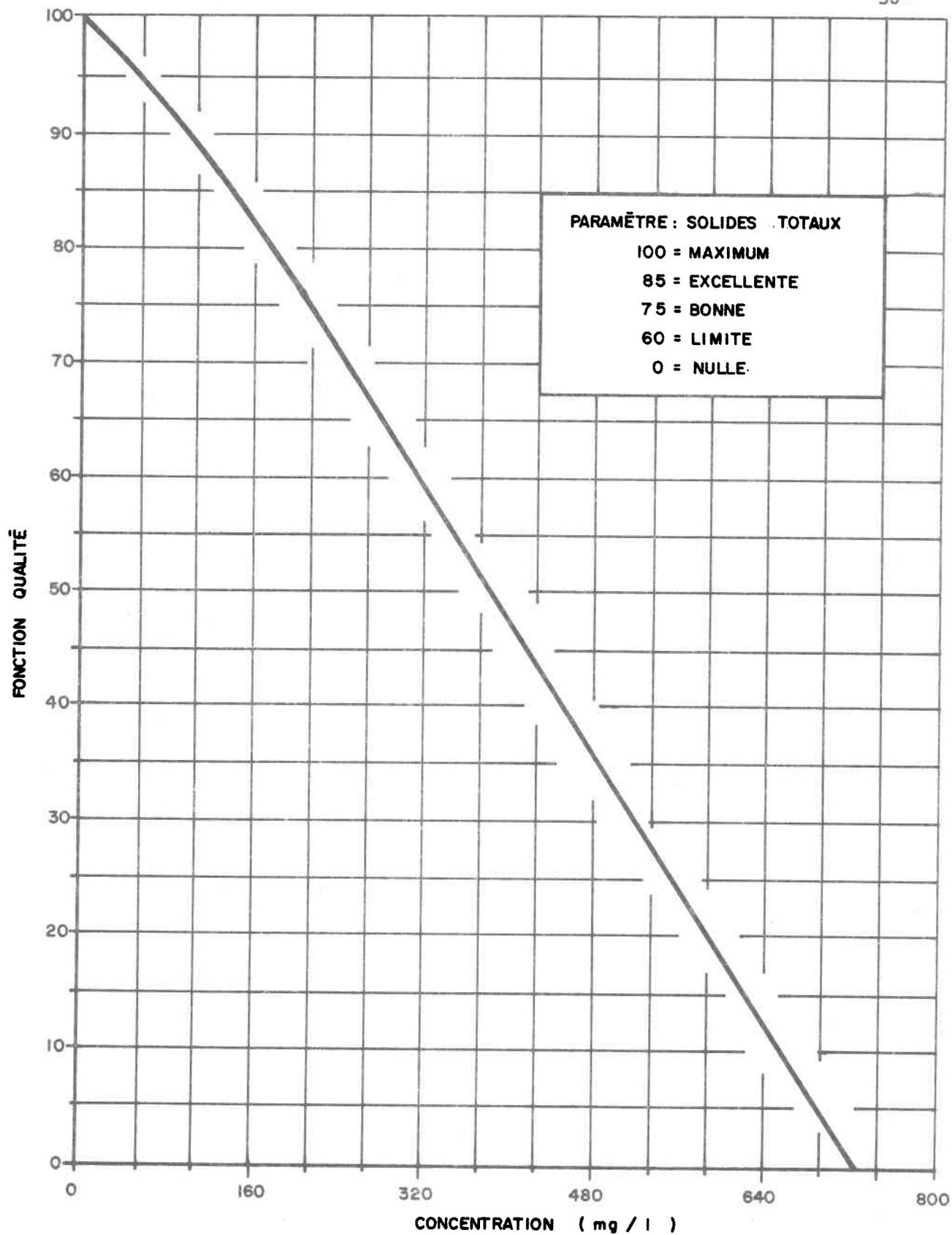


Figure 8 . Exemple d'une courbe de fonction qualité .

### 1.7.3.2 La notation à partir du système Delphi

Le principe de la méthode Delphi est de permettre à un groupe de spécialistes de se prononcer sur des questions précises à partir de barèmes bien définis. L'application de la méthode s'effectue par le biais d'une série de questionnaires où l'on tente de rallier les extrêmes autour de la moyenne. Pour ce faire, on compare d'abord les réponses du premier questionnaire, ce qui permet d'établir des fonctions de distribution et, par le fait même, d'identifier les moments et les extrêmes de ces distributions. Les résultats sont alors communiqués à tous les spécialistes et l'on demande à ceux dont les réponses étaient aux extrêmes s'ils maintiennent leur position ou s'ils la modifient par rapport à la moyenne. Il peut même arriver que s'ils ne changent pas leur réponse, on leur demande de la justifier. Ces justifications sont alors introduites comme arguments à l'intérieur d'un nouveau questionnaire et redistribué à nouveau. Ce processus peut être répété tant que les spécialistes modifient leurs réponses en prenant connaissance des résultats des autres membres du groupe. Habituellement, l'expérience ne dépasse pas cinq (5) itérations.

### 1.7.3.3 Le système de notation utilisé par Morin et Trudel (1976)

Le but de l'étude Morin et Trudel (1976) visant à faire ressortir l'importance relative d'une entreprise dans l'économie d'une municipalité et sur celle d'une région (le bassin de la rivière St-François). On voulait arriver à démontrer l'impact économique en utilisant un paramètre chiffré qui reflétait l'amplitude de l'impact.

Chaque entreprise se caractérise par un ensemble de paramètres: emplois directs, emplois indirects, valeur ajoutée. On établit un système de

poids relatif pour chaque paramètre utilisé, comme par exemple l'emploi manufacturier de l'entreprise ou l'emploi manufacturier de la ville. A ce poids relatif se rattache une cotation du paramètre. Le système d'évaluation permet ainsi d'établir une note globale pour chaque paramètre.

a) Notation pour un paramètre premier niveau\*

$$C_i = P_i N_i$$

où:  $C_i$  = Note globale

$P_i$  = Poids relatif du paramètre utilisé

$N_i$  = Cotation du paramètre utilisé

$i$  = Industrie choisie

et  $0 < C_i < 100$

$$0 < P_i < 10$$

$$0 < N_i < 10$$

b) Notation pour un paramètre de second niveau\*

$$C_i^1 = P_i^1 N_i^1$$

où:  $C_i^1$  = Note globale

$P_i^1$  = Poids relatif du paramètre utilisé

$N_i^1$  = Cotation du paramètre utilisé

$i$  = Industrie choisie

et  $0 < C_i^1 < 50$

$$0 < P_i^1 < 10$$

$$0 < N_i^1 < 5$$

---

\* Dans les deux cas la notion de niveau rejoint celle utilisée dans la théorie du graphe de cohérence (voir chapitre 1.7.1).

Avec cette méthode, une note globale maximale signifie un impact économique extrêmement important pour une municipalité et/ou pour la région. Finalement, à partir de ces notes globales, il est possible de comparer et de classer les entreprises retenues.

Les trois méthodes présentées ici (Provencher, Delphi, Morin et Trudel) peuvent être adaptées chacune à un aspect à coter.

<u>Méthode</u>	<u>Aspect à évaluer</u>	<u>Système</u>
Provencher	Technique	Milieu
Delphi	Social	Homme
Morin-Trudel	Economique	Intermédiaire

Evidemment il peut exister beaucoup d'autres méthodes et celles présentées ici peuvent prêter le flanc à la critique. Ce n'est peut-être pas là l'aspect le plus important, mais plutôt le fait de pouvoir comparer et classer (évaluer) différentes situations par rapport à un objectif et ce, en passant dans un système ordinal.

#### 1.7.4 Possibilité de raccord avec le système matriciel

La souplesse et la structure des graphes de cohérence permettent de représenter les relations inter-niveaux sous forme matricielle (annexe A)\*. Ceci peut devenir un avantage important dans le cas où le chevelu du graphe est trop ramifié. En effet, les matrices inter-niveaux simplifient la représentation graphique par le fait qu'on utilise que des matrices bidimensionnelles. Il faut ajouter que cette représentation matricielle est rendue possible grâce à la cohérence des éléments contenus à l'intérieur de chacun des niveaux.

\* Annexe A: Toutes les relations inter-niveaux mises sous forme matricielle.

### 1.7.5 Le passage du caractère intuitif au caractère normatif

Il peut arriver que, dans un contexte donné où on a appliqué un système de notation sur les principaux aspects à évaluer (technique, économique et social), on veuille donner plus d'importance à un aspect qu'à un autre dans le processus décisionnel. Alors, on suggère l'utilisation d'un abaque d'évaluation à l'intérieur duquel le décideur peut déterminer une zone prioritaire (exemple à la figure 9) qui devient en quelque sorte une norme pour la prise de décision.

### 1.8 Limites et possibilités de la méthode

Sous une apparence de simplicité, la méthode que nous proposons recelle quelques difficultés, lesquelles apparaissent lors de l'analyse et de la programmation. Le premier piège rencontré réside dans le discernement du problème. Avec une méthode aussi souple, il faut savoir fixer le nombre de niveaux optimaux et respecter la cohérence dans le choix des éléments constituant chacun des niveaux. L'aspect évaluation chiffrée demeure également un point litigieux se prêtant à une critique de la méthode. Pour objectiver davantage son application il serait préférable qu'elle soit effectuée par une équipe multidisciplinaire.

Parmi les avantages qu'offre la méthode, la présentation graphique est certainement un des plus importants. Elle permet une vision d'ensemble des relations mises en cause qui devient un atout précieux pour l'utilisateur. Cette schématisation joue aussi un rôle de synthèse qui confère à la méthode un caractère fonctionnel très intéressant.

La méthode du graphe de cohérence se veut une méthode intuitive sous un aspect rationnel, lequel aspect de rationalité lui est conféré par

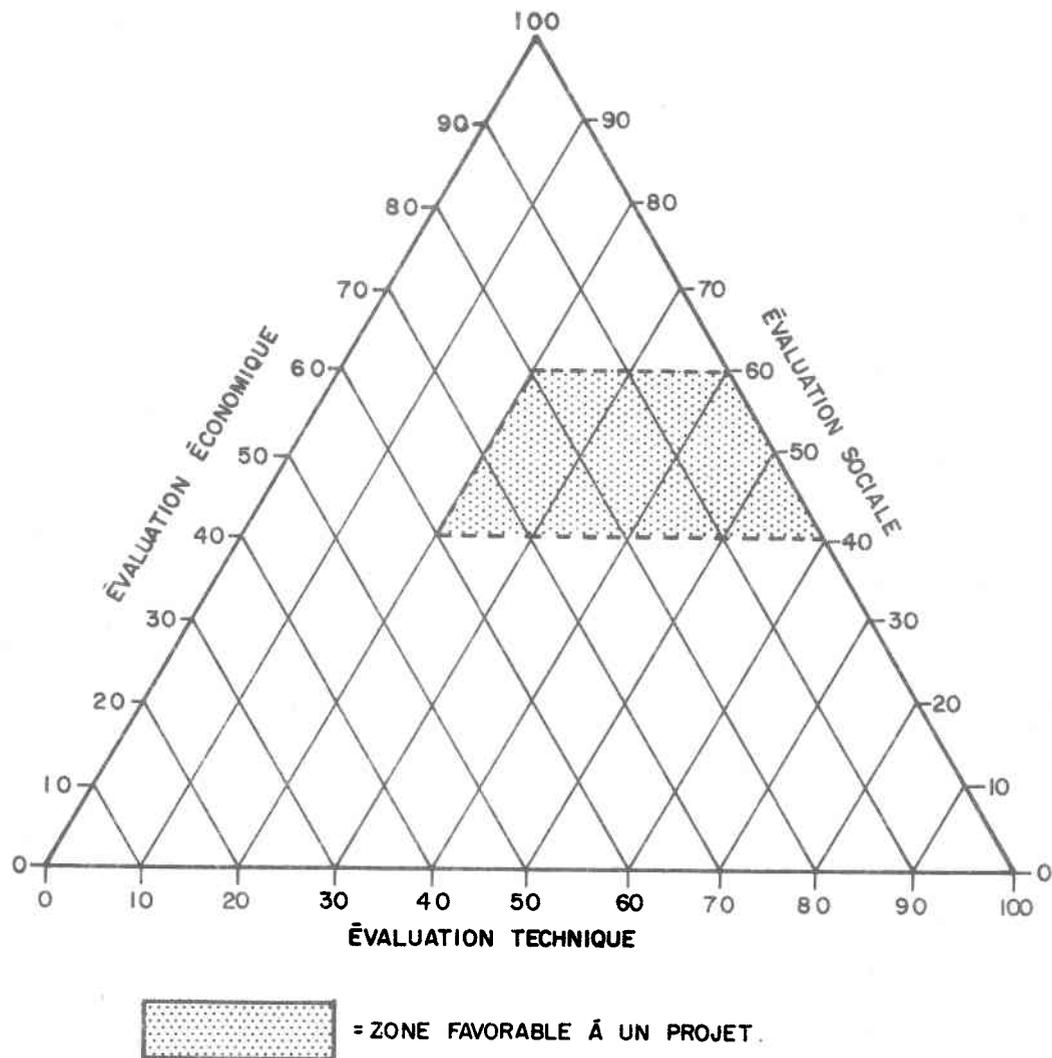


Figure 9 . Impact d'évaluation

la rigueur avec laquelle l'intuition est dirigée. Comme on l'a vu, la méthode est d'abord exploratoire, mais le point de vue normatif n'est pas absent pour autant et il s'établira avec la pratique. La polyvalence de la méthode est aussi fort avantageuse. En effet, elle peut s'appliquer à tous les sujets, du plus vaste au plus petit.

## Chapitre 2

### 2.1 La technique du graphe de cohérence appliquée à la gestion du territoire et des ressources

Il est possible d'appliquer la théorie du graphe de cohérence à tous les niveaux de gestion où il y a un choix à faire ou une décision à prendre (voir fig. 4). Par exemple, Lépine (1975) a utilisé la méthode en prévision de l'aménagement d'un super-port. Dans ce cas précis, on a voulu travailler au niveau de la réalisation d'un projet et la méthode s'est avérée fort intéressante.

Dans le présent cas, nous avons voulu mettre en évidence les impacts potentiels pouvant être occasionnés à l'environnement aquatique par l'exploitation de diverses usines de pâtes et papiers sur un bassin hydrographique donné, en occurrence, le bassin de la rivière St-François. C'est donc dire que nous avons voulu rattacher l'évaluation d'impact à la gestion de la ressource eau et, à ce moment, notre étude pourrait se retrouver au niveau "0" à la case "crise ou problème" dans le modèle théorique illustré à la figure 4.

### 2.2 L'intérêt des pâtes et papiers

L'industrie des pâtes et papiers s'est toujours caractérisée par des impacts importants, que ce soit par rapport à l'aspect technique, économique ou social. Pendant longtemps les principales contraintes pouvant influencer le comportement de cette industrie étaient d'ordre économique, ce

qui représentait un danger sérieux pour l'environnement. Or, avant de permettre l'implantation d'une usine, il serait bon de connaître les menaces qu'elle représente pour les systèmes impliqués. Traditionnellement, le secteur des pâtes et papiers a toujours été au nombre des industries les plus dommageables pour le milieu.

- Pensons aux pêcheurs professionnels du Bas-Adour (France) qui ont vu leur nombre passer de 1 500 au début du siècle (1915) à 90 en 1974. Cette quasi disparition de l'activité de la pêche professionnelle dans cette région est fortement attribuable aux torts causés aux espèces nobles (l'aloise, le saumon et la truite de mer qui ont pratiquement disparu du coin) suite à l'implantation d'une usine de pâtes et papier.

- Pensons aux sévices causés aux autochtones du Nord-Ouest québécois (rivière Bell, région de Matagami) par les déversements de mercure de l'usine de pâtes et papier de La Belle sur Quévillon (Champagne 1976). Il est vrai que l'usine a fait de grands efforts pour limiter les dommages, mais il arrive que certaines situations demeurent irréversibles, et, pour ces gens dont la pêche est l'un des principaux moyens de subsistance, la menace pèse toujours.

- Pensons à la menace que représente l'implantation de la future usine de pâtes et papier à St-Félicien. Ici, c'est la ouananiche qui est mise en cause, un phénomène unique qui représente un fort intérêt touristique et biologique (Bourret et Thibault, 1977).

Et pourtant l'intérêt économique des pâtes et papiers est indiscutable pour le Québec: cette industrie a placé la province en tête des producteurs mondiaux de papier journal. On dit qu'une seule usine du Québec

suffirait à approvisionner tous les journeaux québécois, et pourtant, la province en compte au delà d'une vingtaine.

Cette industrie génère à elle seule plus de 40 000 emplois directs et indirects; elle est aussi responsable de tout près de 20% des exportations québécoises, ce qui représente plus d'un milliard de dollars (Conseil des producteurs de pâtes et papiers du Québec, 1973). Par contre, elle dépend directement de l'exploitation de nos ressources naturelles pour sa survie. Voilà la problématique des pâtes et papiers au Québec, et c'est à travers ces multiples facettes que le gestionnaire doit naviguer pour maintenir le dynamisme et l'équilibre des systèmes (social, technique et économique) impliqués.

### 2.3 Les pâtes et papiers et les ressources naturelles

Si les immenses forêts québécoises sont la principale raison d'existence de cette industrie au Québec, il ne faut pas oublier pour autant la contribution de la ressource eau à ce succès économique-industriel.

L'industrie papetière a toujours été étroitement associée aux rivières québécoises qui en constituent un des principaux facteurs de localisation. L'eau représente un élément vital à la production papetière, que ce soit par son rôle énergétique et de transport ou comme matière première de base. On prétend que l'industrie des pâtes et papiers consomme (Conseil des producteurs des pâtes et papiers du Québec, 1973) à elle seule 30% de toute l'énergie hydro-électrique industrielle.

Rappelons le rôle essentiel de la drave (transport par flottage) pour la survie des pâtes et papiers. Cette fonction de transport par voie d'eau, en plus d'être typique, économique et pratique, était fort polluante.

C'est pourquoi le S.P.E. (Service de Protection de l'Environnement) a proscrit cette pratique au Québec. Malheureusement, on s'adonne encore à cette activité sur certaines rivières très poissonneuses comme la rivière Nouvelle en Gaspésie et la rivière St-Maurice.

Mais le rôle primordial de l'eau dans le secteur des pâtes et papier demeure sa contribution à la production. Shotwell et al. (1957) ont réalisé une étude sur la consommation en eau associée aux divers procédés des pâtes et papier. Ces informations sont des plus révélatrices: on utilise en moyenne 34 000 gallons d'eau par tonne de produit fini, sans compter celle qui sert à la production hydro-électrique et au transport du bois.

La quantité peut varier de 985 à 198 000 gallons selon le produit désiré et le procédé utilisé. N'allons pas croire que toute cette eau est soustraite à la rivière pour chaque tonne de papier fabriqué. Non, ce n'est qu'un emprunt; en fait, 90% de l'eau requise aux diverses étapes du procédé est retournée à la rivière, et c'est ce qui constitue la principale source de pollution de l'industrie papetière. La première explication de l'existence de cette menace environnementale serait le contexte historique.

En effet, au Québec, la très grande majorité des usines de pâtes et papiers ont été construites durant les trois premières décennies du siècle. Cette vieille infrastructure n'était nullement conçue en prévision des luttes anti-pollution, et c'est pourquoi la réadaptation est si difficile.

#### 2.4 Un cadre réel pour l'application de la théorie du graphe de cohérence

Pour concrétiser davantage notre recherche, on a cru bon choisir

une rivière québécoise afin de nous doter d'un cadre réel où l'on pourrait éventuellement tirer un bon nombre de relations à partir de la situation existante. Notre choix s'est arrêté à la rivière St-François où existent trois usines de pâtes et papiers aux procédés différents et bien caractéristiques de la problématique québécoise, ne serait-ce que parce que ces usines sont le support économique des villes où elles se situent.

<u>Nom</u>	<u>Localité</u>	<u>Type de procédé</u>	<u>Date de Construction</u>	<u>Nombre d'employés</u>
Domtar	East-Angus	Kraft, NSSC*	1909	550
Kruger	Bromptonville	Mécanique	1907	450
Domtar	Windsor	Kraft	1859	550

La figure 18 localise bien chacune des industries sur le bassin St-François.

Et ce n'est pas là la seule particularité qui motive notre choix (Couillard, 1975 a). Pensons par exemple à l'âge des équipements en place et à la possibilité de pertes polluantes de ces vieux procédés. Ainsi, sur les dix (10) machines à papier en opération dans le bassin, quatre (4) seulement ont été installées depuis les vingt dernières années (la dernière l'a été en 1956). Les autres fonctionnent depuis plus de trente (30) ans et même, il y en a deux qui opèrent depuis plus de soixante-cinq (65) ans.

Bien que chacune de ces usines prévoit d'importants projets de lutte contre la pollution, peu d'entre eux se sont vu concrétiser à ce jour, si ce n'est quelques équipements de traitement primaire (exemple: les filtres de type Wargo à l'usine Domtar de Windsor). Voilà quelques atouts qui

\* NSSC: pâte semi-chimique à base de sulfite neutre (Neutral Sulfite Semi-Chemical)

peuvent contribuer à rendre notre démarche intéressante. Notre étude ne vise aucune compagnie en particulier, et le fait que nous en ayons identifié sur notre graphe de cohérence ne s'explique que par le cadre réel dont on voulait entourer l'étude.

## 2.5 Elaboration du graphe de cohérence

Pour les fins de l'étude, on a retenu le seul aspect d'impact environnemental (impact sur le système milieu), et encore on s'est contenté d'identifier et de décrire succinctement les principales relations mises en cause. Il aurait été fort intéressant d'opérer la même démarche pour l'aspect économique et social et, finalement, d'appliquer un système de notation chiffrée à chacun des liens mis en cause.

On a cru bon d'insister sur la description détaillée des différentes étapes de procédé, ce qui facilite la compréhension des divers chemine-ments critiques du graphe de cohérence. Le graphe (fig. 10) ne fait pas de particularité au niveau des industries impliquées. Ici nous voulons dire que chacun des effets attribués au procédé Kraft n'est pas systématiquement associé aux usines Domtar (du bassin St-François). Le caractère général de cette approche permet l'applicabilité du graphe sur d'autres bassins hydrographiques. Les relations réelles existantes pour les usines et le bassin étudiés sont reliées par un trait continu, tandis que les relations théori-ques appuyées par la littérature, mais n'existent pas nécessairement pour les usines impliquées sont réunies par un trait discontinu.

## 2.6 La fabrication de la pâte à papier

Le principe de la fabrication du papier consiste à donner une forme nouvelle à la cellulose fournie par la nature. La cellulose, composante

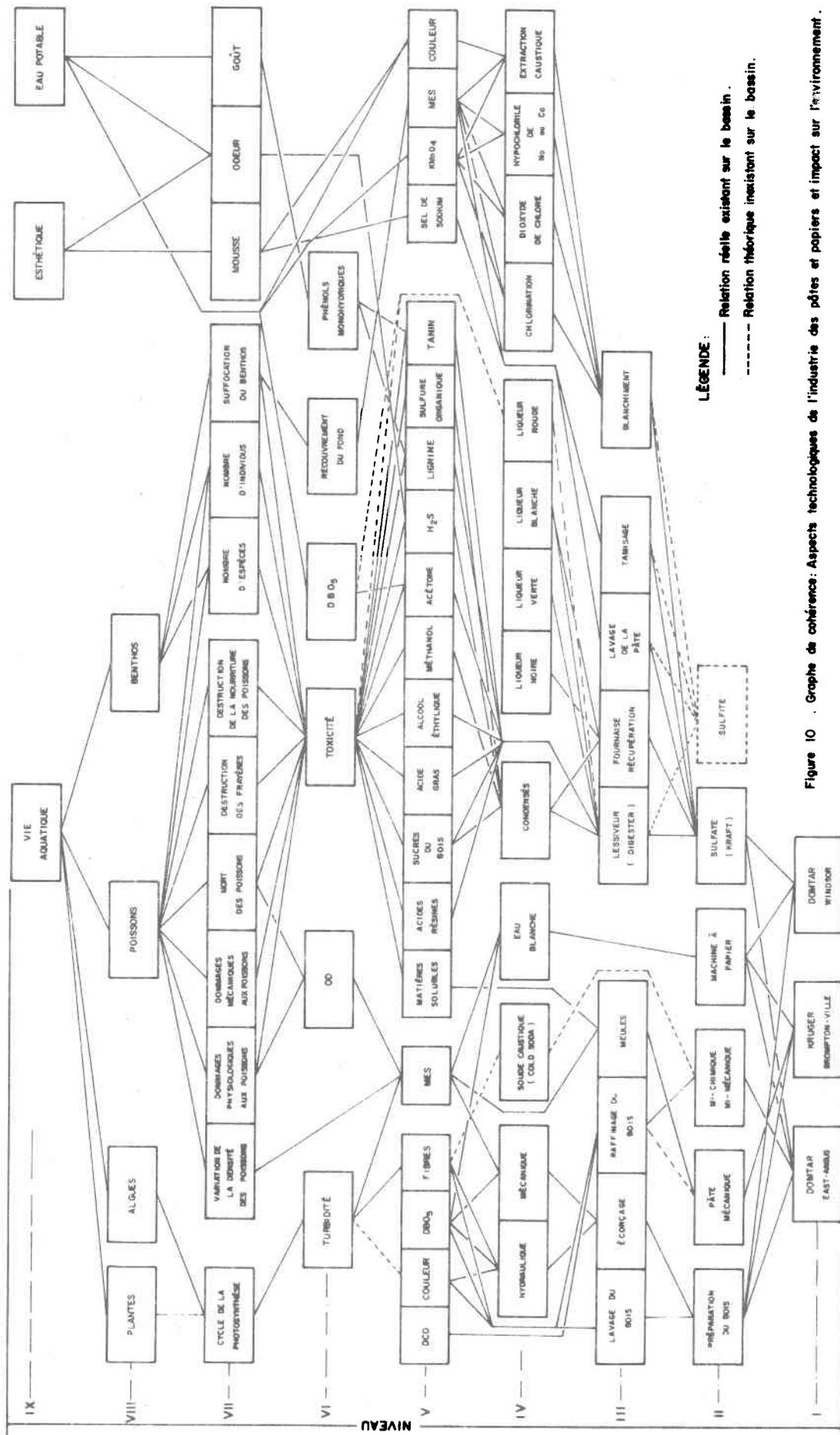


Figure 10 . Graphe de cohérence: Aspects technologiques de l'industrie des pâtes et papiers et impact sur l'environnement .

principale de la matière première pour la fabrication de la pâte à papier, provient du bois qui se compose de fibres de bois et de matières cellulosiques qui les relient. Les fibres du bois sont des cellules creuses et cylindriques ayant en moyenne un huitième de pouce de long et huit centième de pouce de diamètre pour les bois tendres. Les parois de ces fibres sont composées en grande partie de cellulose, d'où leur grande importance dans l'industrie de la pâte à papier.

Mais il s'avère que la cellulose n'est pas l'unique constituant du bois; en fait, elle ne compte que pour environ cinquante (50) pour cent de la composition totale du bois. Les autres éléments considérés comme indésirables dans la fabrication de la pâte sont: la lignine, l'hémicellulose, les protéines, les substances pectines, les huiles volatiles, les acides résinés et les acides gras. Il faut noter que ces multiples composés sont présents à différents niveaux de concentration dans le bois, dépendamment de l'espèce d'arbre ou de la saison où la coupe fut effectuée. Il demeure que la lignine est le composé le plus important après la cellulose. Il s'agit en fait d'une substance complexe comprenant des groupes méthoxyls et des groupes hydroxyl-phénoliques. La lignine joue ainsi le rôle de ciment entre les fibres, c'est ce qui confère une certaine rigidité au bois. Afin d'obtenir la pâte, il faut d'abord extraire les fibres du bois pour ensuite en venir au papier.

Le principe de la fabrication du papier a été découvert il y a vingt (20) siècles. On a commencé par s'apercevoir que les fibres végétales ayant été mouillées et mises en contact les unes avec les autres ont la propriété de s'agglomérer lorsqu'on en retire l'eau.

### 2.6.1 Généralités et historique du procédé

L'industrie des pâtes et papiers telle qu'on la connaît aujourd'hui remonte à une centaine d'années, même s'il y a mille ans passés on fabriquait du papier à la main en Orient et que depuis près de sept cents (700) ans on en fabriquait en Europe.

Le procédé fondamental de fabrication a subi très peu de modifications au cours du vingtième siècle, contrairement à d'autres industries. Les opérations portent maintenant sur de plus grandes quantités de matières premières. Toutefois, on a amélioré l'efficacité en développant des méthodes de travail et en apportant quelques modifications à la conception des machines, mais les grandes étapes de la mise en pâte des fibres végétales n'ont pas changé pour autant.

Au cours des prochains chapitres nous élaborerons les différents procédés de la préparation de la pâte et nous tenterons d'établir leur potentiel polluant par rapport à la ressource eau. Cette élaboration deviendra en fait l'explication détaillée des relations mises en évidence sur le graphe.

## Chapitre 3

### 3.1 Procédés de fabrication de la pâte à papier

Dès lors, on peut dire qu'il existe deux grandes techniques qui visent à isoler les fibres du bois de la lignine qui les relie. La première est un procédé mécanique qui consiste à réduire les billes de bois en fibres en les râpant sur une meule tournante, ou en soumettant les copeaux à l'action meulante de disques tournant en sens contraire, méthode dite du raffinage.

La seconde technique consiste à dissoudre chimiquement la lignine des fibres de cellulose. Pour y arriver, on cuit les copeaux de bois dans une liqueur chimique à haute température et sous pression. La cuisson dissout à peu près tout ce que le bois contient, à l'exception des fibres. Il existe deux grandes méthodes de mise en pâte chimique, soit: le procédé au sulfate, mieux connu sous le vocable de procédé Kraft, lequel procédé utilise un alkali comme liqueur et le procédé au bisulfite où l'on utilise un acide comme liqueur de cuisson.

De ces deux techniques en est issue une troisième dite semi-chimique ou semi-mécanique, où interviennent à la fois une étape mécanique et une étape chimique dans la préparation de la pâte. Il faut mentionner qu'avant d'en arriver à l'étape principale de mise en pâte, on doit soumettre le bois à une phase préparatoire où l'on retrouve le lavage, l'écorçage et la mise en copeaux, dans certains cas.

### 3.2 La préparation du bois

L'industrie des pâtes et papiers est appelée à recevoir la matière première sous différentes formes, ce qui implique quelques manipulations avant d'utiliser le bois pour la préparation de la pâte. Certains moulins reçoivent leur bois directement en copeaux, d'autres, sous forme de billes ("pitounes") d'une longueur de quatre (4) pieds, qui sont encore enrobées de leur écorce. Ceci oblige à une opération supplémentaire pour des raisons à la fois de technique de fabrication et de qualité du produit désiré, soit l'écorçage.

#### 3.2.1 Le lavage du bois

Peu importe la méthode d'écorçage employée, on procède dans la majorité des moulins à un lavage systématique des billes dans le but d'enlever la boue et la terre qui sont sujettes à coller au bois. Le principe de cette opération est assez simple et emploie une quantité minimum d'eau. Lorsque les billes de bois s'acheminent par convoyeurs à la salle d'écorçage, elles passent sous un gicleur. Le mouvement des billes sur la courroie de transport facilite le nettoyage. La quantité d'eau requise pour cette opération varie entre 100 et 300 gallons par tonne de bois lavée, et cette variation de la quantité d'eau nécessaire dépend de la différence d'espace de vide entre les billes.

Selon Vickerman (1967), il est établi que l'effluent résultant du lavage du bois a une très faible teneur en D.B.O. et que la composition principale de la matière en suspension serait de la boue. Le tableau 2 illustre bien l'impact du lavage sur les paramètres qualité à l'effluent.

TABLEAU 2: Quelques caractéristiques du lavage du bois

Débit à l'effluent	100 à 300 gallons / tonne de bois
D.B.O.	1 à 8 lb / tonne de bois
Solides en suspension	5 à 55 lb / tonne de bois
Couleur	< 50 unités

### 3.2.2 L'écorçage du bois

L'écorce constitue un élément indésirable pour la préparation de la pâte, c'est pourquoi on a dû s'ingénier à l'enlever. Il existe plusieurs techniques d'écorçage, le choix d'une méthode plutôt qu'une autre dépend du coût que l'on veut accorder à cette étape de fabrication, du rendement que l'on veut obtenir ainsi que de l'espèce d'arbre utilisée. Pour les fins de l'étude, on s'en tiendra aux deux techniques les plus employées, soit l'écorçage en milieu sec et l'écorçage en milieu humide.

L'écorçage en milieu sec utilise un système de tambours où les billes sont mises en contact les unes contre les autres avant de passer le long d'une série de couteaux fixés aux tambours. Cette façon de procéder permet de récupérer l'écorce afin de l'utiliser comme combustible.

L'écorçage en milieu humide présente certains avantages: l'eau sert d'abord à attendrir l'écorce, ce qui en facilite l'enlèvement. Elle sert aussi au transport de l'écorce à travers le système. Il existe trois méthodes d'écorçage en milieu humide: l'écorçage par tambours humides, le système d'écorçage à boîte (Pocket Barkers) et le système d'écorçage hydraulique.

Le tambour à écorçage humide consiste en un tambour à rainures à l'intérieur duquel on trouve une série de lames qui arrachent l'écorce du bois pendant que le tambour exécute des rotations en passant dans un bassin d'eau; l'écorce passe à travers les rainures et est emportée par le surplus d'eau. La capacité d'un pareil système peut varier de sept à quarante-cinq (45) cordes de bois par jour. L'apport du tambour à écorçage humide à l'effluent peut être de l'ordre de quinze (15) à vingt (20) livres de

D.B.O. par tonne de bois écorcée et de trente (30) à cent (100) livres de matières en suspension par tonne.

Le système dit de la boîte d'écorçage (Pocket Barkers) est une machine fixe qui enlève l'écorce par friction et rotation des billes contre une chaîne décapeuse. L'eau est injectée à travers les ouvertures de chaque côté de la boîte à un rythme de trois cents (300) à six cents (600) gallons à la minute; il semble que ce système soit de moins en moins utilisé.

La méthode d'écorçage reconnue comme la plus efficace serait le système d'écorceuse hydraulique, où l'on enlève l'écorce du bois à l'aide de gicleurs à haute pression. La quantité d'eau utilisée pour cette opération est de l'ordre de cinq mille (5000) à douze mille (12 000) gallons par corde de bois, le tout dépendant du diamètre des billes. Pour un meilleur aperçu de l'écorçage en milieu humide, on peut se référer à la figure 11.

Dans l'ensemble, on peut dire que la charge polluante rejetée au cours des diverses opérations d'écorçage par voie humide est importante. En fait, 25% des solides en suspension retrouvés dans les eaux réceptrices sont attribuables à cette étape du procédé. Ces solides en suspension peuvent contenir des particules de bois, grossières et fines, des éclisses et du sable. Il peut arriver que l'on retrouve dans ces effluents une certaine dose de solides dissous attribuables à la sève des arbres. Le tableau 3 tiré de l'étude de Gehm (1973) donne un aperçu du potentiel polluant du système d'écorçage à tambour humide dans trois moulins de pâtes et papiers américains.



TABLEAU 3: Potentiel polluant du système d'écorçage à tambour humide

Moulin	Solides en suspension mg / l.	% de cendre ds les solides en suspension	D.B.O. mg / l.	Couleur
1	2 017	—	480	20
2	3 171	21	605	50
3	2 875	18	987	50

La dernière opération se rattachant à la préparation du bois est la mise en copeaux. Etant donné qu'il n'y a aucune phase liquide à cette étape du procédé, on se contentera de souligner l'existence de cette opération sans aller dans les détails de son fonctionnement; cette étape du procédé n'est pas considérée dans le graphe de cohérence (fig. 10).

### 3.3 Préparation de la pâte mécanique

L'origine de la mise en pâte mécanique remonte au milieu du XIX<sup>e</sup> siècle. Charles Fenstry fut le premier américain à fabriquer du papier à partir du principe de la mise en pâte mécanique en 1844. Parallèlement à cette initiative nord-américaine, on retrouvait l'équivalent du côté européen. En effet, vers les années 1860 s'installa un important moulin à pâte mécanique à Poix dans les Ardennes belges. Le Québec eut son mot à dire dans l'histoire de la pâte mécanique par l'implantation du premier moulin commercial en Amérique du Nord: l'usine ouvrit ses portes en 1866 à Valleyfield.

Les principes de base de la mise en pâte mécanique sont relativement simples; en fait, il s'agit de réduire les billes de bois (pitounes) en fibres en les râpant sur une meule tournante en grès, l'opération se déroulant en phase liquide. La rotation de la meule facilite le défibrage tandis que l'eau joue le rôle d'élément refroidissant tout en nettoyant et lubrifiant la meule et permet de prendre en charge la pulpe produite pour la transporter vers les opérations subséquentes. L'origine du principe des meules s'inspire probablement des moulins à farine, où la source d'énergie activant les meules était la même, soit d'immenses roues à aubes à partir desquelles on fixait un arbre qui actionnait les meules. Depuis le temps, on a modifié considérablement cet équipement en utilisant des meules plus

résistantes et plus efficaces en passant à l'énergie électrique et en introduisant d'autres concepts, comme celui du raffinage, par exemple. Mais le principe de base reste toujours le même: la délignification par énergie mécanique.

Le procédé de la mise en pâte mécanique est très populaire au Québec. Il compte pour environ 45% de la production totale de toute la pâte québécoise. La majeure partie de cette production sert à la fabrication du papier journal. En se référant au bassin étudié, soulignons que l'usine Kruger à Bromtonville (fig. 18) prépare une partie de sa pâte de façon mécanique.

### 3.3.1 La mise en pâte mécanique à partir des meules

En se référant à la figure 12, on est à même de suivre la procédure chronologique de la mise en pâte mécanique à partir des meules. Une fois que la pulpe du bois est défibrée sur les meules, elle est lavée et tamisée afin de la débarrasser des impuretés qui pourraient encore s'y trouver, comme des morceaux de bois par exemple. Ensuite la pâte est récupérée par principe de centrifugation pour être acheminée au département de blanchiment ou directement à la fabrication du papier.

Dans la mise en pâte mécanique on peut considérer que la phase liquide s'effectue pratiquement en circuit fermé, l'eau une fois rendue à l'épaisseur retourne au réservoir d'eau blanche pour être à nouveau réutilisée dans le procédé. Il existe quand même une certaine quantité d'eau qui se retrouve à l'égoût, ceci afin de permettre un apport constant d'eau propre, ce qui contribue à limiter le colmatage dans le système. Le débordement à l'égoût excède rarement 10 000 gallons. Le tableau 4 nous fournit un aperçu

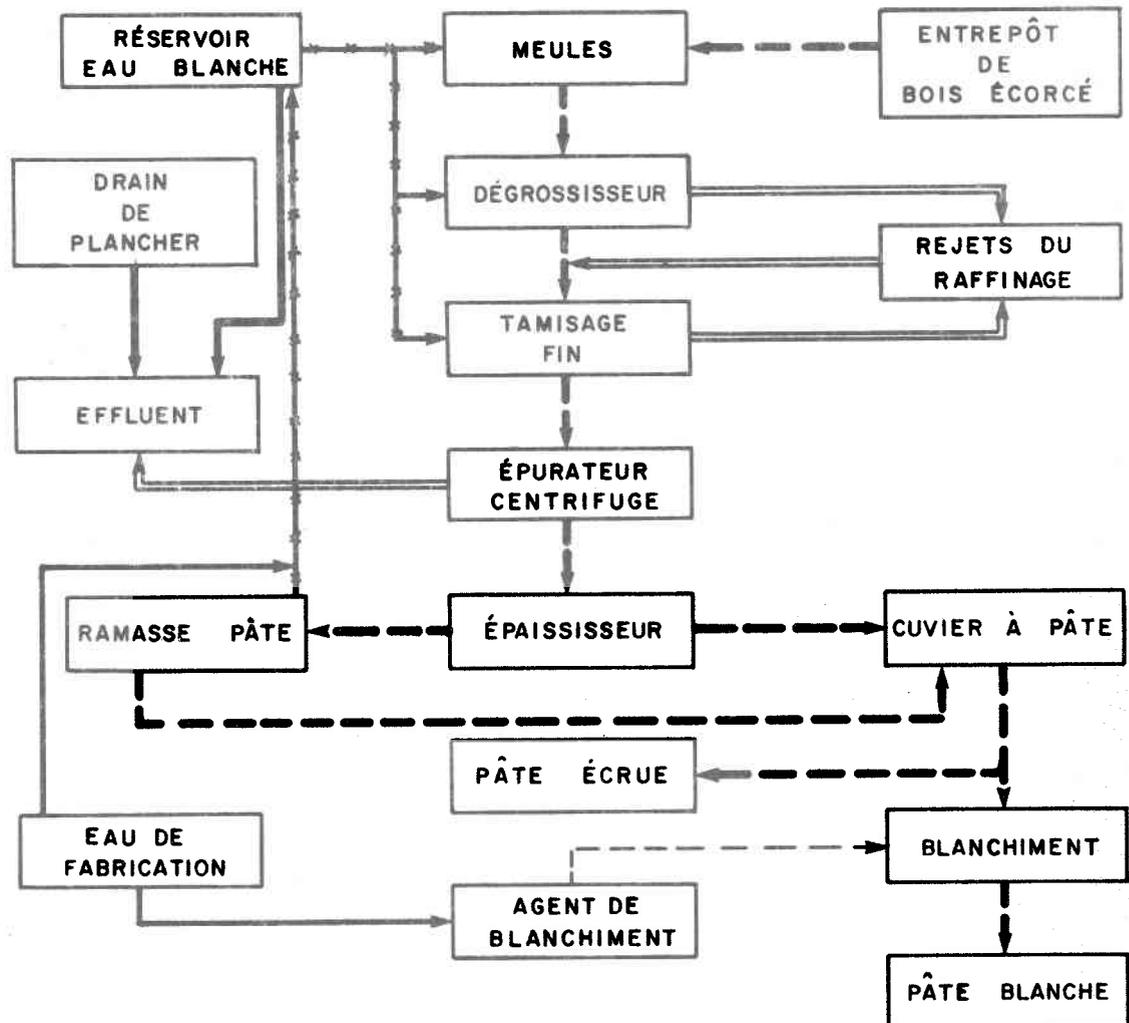
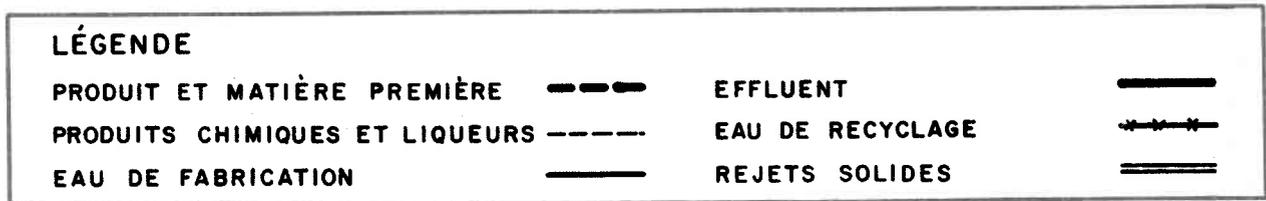


FIGURE 12. DIAGRAMME ILLUSTRANT LE PROCESSUS DE LA MISE EN PÂTE MÉCANIQUE

TABLEAU 4: Caractéristiques des effluents de quelques moulins effectuant la mise en pâte mécanique à partir des meules.

Moulin	Consommation Milliers de <u>gal.</u> t. produit	<u>D.B.O.</u> t. produit	<u>Solides en susp.</u> t. produit
1	6.3	11 lb.	16 lb.
2	1.9	8 "	14 "
3	4.4	11 "	11 "
4	5.4	9 "	12 "
5	8.3	18 "	11 "
6	2.7	19 "	16 "
7	2.2	4 "	42 "
8	2.6	14 "	21 "

des différentes caractéristiques que présentent les effluents de mise en pâte mécanique à partir des meules. Ce tableau est tiré de l'étude de Gehm (1973) et regroupe un échantillonnage de différents moulins américains.

La majeure partie des matières en suspension provient de l'étape du tamisage et se compose surtout de fibres fines qui ont la propriété d'être difficilement dégradables. On peut s'attendre à retrouver quelques faibles concentrations de matières solubles provenant du défibrage et du lavage; ces matières sont généralement des acides acétiques, des acides formiques ou des substances volatiles comme la térébenthine, par exemple.

### 3.3.2 La mise en pâte mécanique à partir du raffinage

Pendant longtemps, la mise en pâte mécanique ne se faisait qu'à partir de meules. Ce n'est que vers les années 1960 qu'on commença à promouvoir l'installation du système de raffinage. Ce système consiste à soumettre des copeaux de bois à l'action meulante de disques tournant en sens contraire. Ce nouveau système offre la possibilité d'utiliser les rebus de bois ainsi que n'importe quel type d'arbre pouvant servir à la préparation de la pâte à papier, à la condition de le transformer en copeaux. De plus, ce système diminue de beaucoup le rapport "travail/homme" requis à la production d'une tonne de papier. Les seuls inconvénients que l'on peut lui attribuer sont d'ordre économique. En effet, l'investissement de base associé à l'installation de l'équipement est élevé et de plus, ce processus consomme beaucoup plus d'énergie que le système traditionnel. Le premier système de raffinage à être installé au Québec le fut à l'industrie Price Brother's de Kénogami en 1963.

Les raffineurs ou désintégrateurs à disques opèrent généralement en deux ou trois stades. On mélange d'abord les copeaux à quatre ou cinq fois leur volume d'eau. Après quoi ils sont introduits dans un premier appareil dont le rotor tourne entre 1 500 et 1 800 tours/minute. La pâte grossière engendrée par ce premier broyage est diluée de moitié par un nouvel apport d'eau. Le tout passe ensuite dans un second désintégrateur et possiblement dans un troisième. Les matières arrêtées au classage entre les diverses étapes sont recyclées. La pâte mécanique obtenue du désintégrateur à disques se présente à l'état liquide ayant une concentration de 5 à 20% de matières solides. C'est sous cette forme qu'elle est ensuite lavée, filtrée et épurée, suite à différentes opérations. Une fois ces diverses étapes franchies la pâte peut être acheminée au blanchiment si désiré. La figure 13 illustre bien les principales étapes du cycle de la mise en pâte mécanique par raffinage.

En ce qui concerne les caractéristiques des effluents issus du raffinage, disons qu'elles sont sensiblement les mêmes que celles provenant de l'extraction de la pâte par le procédé des meules. En général, le raffinage consomme quand même moins d'eau, mais compte une plus grande quantité de solides en suspension, ainsi qu'une plus forte concentration de D.B.O. Le tableau 5 illustre bien ces quelques observations.

Encore une fois ici la majeure partie des matières en suspension se compose de fibres plus ou moins fines et, évidemment, une pareille charge organique influence la couleur des eaux rejetées à l'effluent.

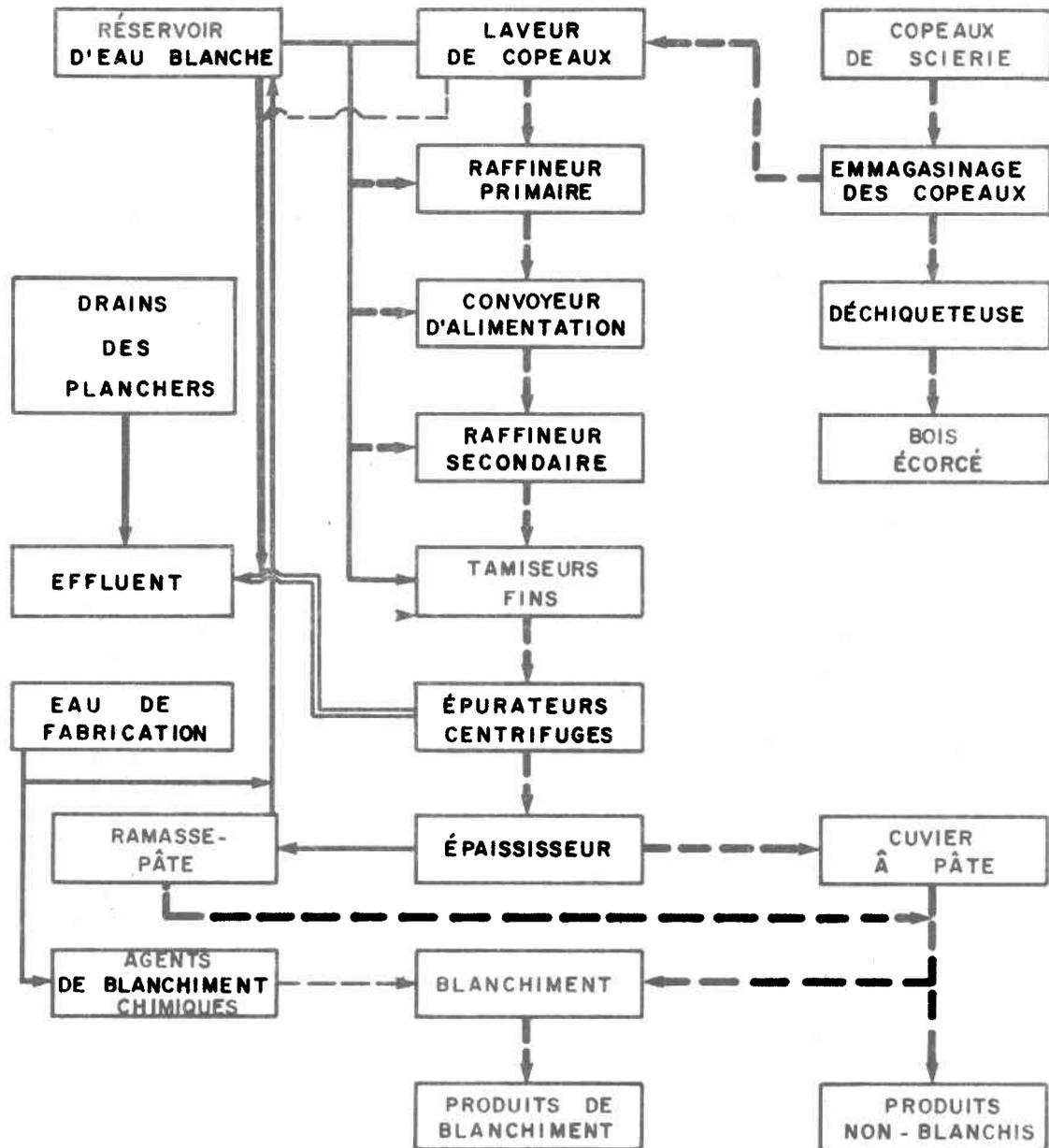
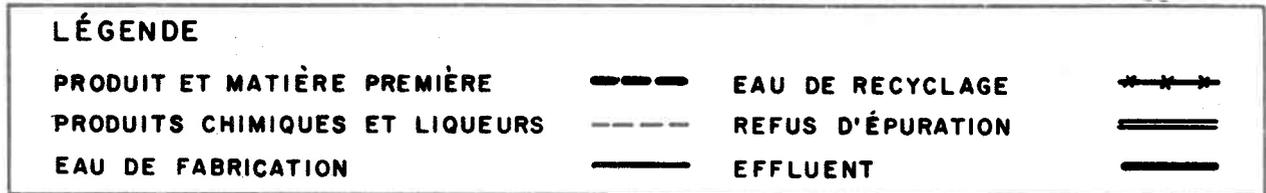


FIGURE 13. DIAGRAMME DU PROCÉDÉ DE LA MISE EN PÂTE MÉCANIQUE À PARTIR OU RAFFINAGE.

TABLEAU 5: Caractéristiques des effluents de quelques moulins effectuant la mise en pâte mécanique à partir du raffinage. (réf. Gem. 1973).

Moulin	Consommation d'eau Milliers de gal. <u>t. produit</u>	DBO <sub>5</sub> <u>t. produit</u>	Solides en susp. <u>t. produit</u>
1	2.6	26 lb.	105 lb.
2	4.3	120 "	100 "
3	5.8	15 "	110 "
4	6.7	18 "	59 "
5	4.4	15 "	30 "
6	1.7	32 "	35 "
7	5.9	30 "	35 "

### 3.4 La mise en pâte chimique

#### 3.4.1 Historique et principe du procédé

En dehors de la pâte mécanique qui possède un rendement élevé pouvant atteindre 95%, les chercheurs de la seconde moitié de XIX<sup>e</sup> siècle travaillèrent à mettre au point des méthodes pouvant fournir une matière première papetière de meilleure qualité. Même si on ignorait à l'époque les notions de polymère et de macromolécule, les chercheurs comprirent rapidement que seule une fraction du végétal possédait les caractéristiques requises à la fabrication d'une pâte de qualité, en l'occurrence, il s'agissait des fibres du bois à haute teneur en cellulose.

Dès lors, le problème technique se ramena à éliminer les fractions végétales inutiles comme la lignine et l'hémicellulose. Plusieurs méthodes furent proposées dans ce but dont deux sont encore fortement utilisées aujourd'hui: le procédé au bisulfite et le procédé au sulfate ou kraft.

Ces méthodes consistent à écarter les éléments indésirables en les dissolvant dans un milieu aqueux renfermant les réactifs convenables. Ces réactifs sont l'anhydride sulfureux dans le procédé au bisulfite et la soude caustique dans le procédé au sulfate.

Cette phase chimique de la préparation de la pâte se déroule dans de grands lessiveurs "digesters" cylindriques et verticaux ayant une capacité volumétrique variant de 50 mètres cubes à 300 mètres cubes. De plus, pour favoriser la pénétration des liqueurs de cuisson à l'intérieur des tissus végétaux, on augmente la pression et on élève la température (100<sup>o</sup> à 180<sup>o</sup>C) à l'intérieur des lessiveurs. Mentionnons que la matière première dans tous les procédés de mise en pâte chimique se présente sous forme de

copeaux, ceci dans le but d'offrir plus de surface de contact aux liqueurs de cuisson.

#### 3.4.2 Le procédé de mise en pâte au sulfate

Le procédé au sulfate (kraft) utilise comme réactif chimique, non pas du soufre, comme le nom inciterait à le croire, mais de la soude caustique (Na OH) ainsi que du sulfure de sodium ( $\text{Na}_2 \text{S}$ ). Ce dernier corps intervient uniquement comme réserve de soude pour régulariser l'attaque de la lignine. En fait, le  $\text{Na}_2 \text{S}$  se trouve à s'hydrolyser, formant ainsi de la soude caustique. Ces deux réactifs sont engendrés dans le lessiveur par le sulfate de sodium ( $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ ). Cette méthode permet de préserver la cellulose et ainsi d'obtenir des pâtes qui offrent au papier une résistance mécanique remarquable, d'où le nom kraft qui signifie en allemand: "force".

Si on se réfère à la figure 14, on remarque un apport de vapeur dans le lessiveur; la vapeur a pour effet d'augmenter la capacité d'échange des copeaux ainsi que la capacité du lessiveur comme tel. Une fois que les copeaux sont bien vaporisés, on laisse pénétrer la liqueur de cuisson.

La liqueur de cuisson se compose de liqueur blanche et d'une quantité de liqueur noire diluée. Elle est introduite dans le lessiveur rempli de copeaux de bois, où on élève la température entre  $160^\circ$  et  $180^\circ \text{C}$  et on laisse le tout en réaction pendant 30 à 150 minutes. Ceci permet de dissoudre la lignine du bois et de libérer les fibres servant à la fabrication de la pâte. Les fibres sont séparées de la liqueur de cuisson par une série de lavages successifs. Pour ce qui est des impuretés solides qui ne seraient pas dissoutes, elles sont séparées de la pâte par tamisage.

La cuisson est opérée dans des lessiveurs à "étape" ou "continus" (du type Kamyr ou Pandia). Pour les lessiveurs continus les opérations ne s'arrêtant pratiquement jamais, les matériaux et les lessives y circulent en sens inverse et sont introduits et évacués d'une manière constante.

Pendant l'étape de la cuisson, il y a une phase gazeuse qui se développe à partir des différents échanges à l'intérieur du lessiveur. Ces gaz sont plutôt indésirables, c'est pourquoi l'on s'efforce de les évacuer. Il arrive qu'une certaine partie de ces gaz se condense assez bien; on en profite alors pour les séparer en phase liquide. L'eau servant à la séparation des condensés se caractérise par son odeur nauséabonde ainsi que par un fort potentiel en D.B.O.

Les pâtes au sulfate sortant du lessiveur sont très foncées. Elles ont longtemps eu la réputation d'être imblanchissables. C'est pourquoi on les retrouve surtout dans la fabrication des papiers et cartons d'emballage, où la résistance devenait un atout précieux alors que la couleur brunâtre importait peu. Les progrès réalisés durant les dernières années ont modifié la situation de la pâte kraft: on est maintenant en mesure de blanchir la pâte kraft et de la rendre compétitive avec n'importe quelle autre pâte. Nous verrons plus en détail dans un prochain paragraphe le procédé de blanchiment. Un autre des grands avantages qu'offre le procédé kraft, c'est la possibilité de récupérer la liqueur qui a servi à la cuisson, ce qui représente un atout économique intéressant comparativement à la préparation de la pâte au bisulfite.

### 3.4.2.1 Récupération de la liqueur de cuisson kraft

A partir de lavages successifs on arrive à séparer la liqueur alcaline de la pâte. Cette liqueur, bien que diluée, (une consistance de 10 à 20% solide) est quand même très foncée. De plus, elle renferme de la lignine, des hémicelluloses dégradées et de la résine. Il n'y a qu'une faible partie de cette liqueur qui retourne directement au lessiveur. L'autre partie est concentrée à 60 ou 70% par évaporation, puis envoyée dans le foyer d'une chaudière après avoir été enrichie de sulfate de sodium ( $\text{Na}_2 \text{SO}_4$ ). Cette fournaise dite de récupération, brûle la matière organique contenue dans la liqueur, tandis que les sels minéraux fondent et sont dirigés vers un bac rempli d'eau où ils se dissolvent en formant la liqueur verte.

Cette liqueur verte est par la suite traitée à la chaux, ce qui a pour effet de régénérer la soude et le sulfure de sodium et ainsi donner naissance à une nouvelle liqueur blanche qui peut finalement être réutilisée à la cuisson. Le rendement de la récupération est très efficace, de l'ordre de 90%. La perte est compensée par un nouvel apport de sulfate de sodium. La figure 14 illustre bien les principales étapes du cycle de la récupération ainsi que les grandes phases d'opération du procédé kraft.

### 3.4.2.2 Quelques caractéristiques des effluents du procédé kraft

Selon Kleepe et Rogers (1970) les effluents combinés d'un moulin kraft varient entre 150 et 300 mg/l. de D.B.O.<sub>5</sub>. D'autre part, Mc Dermott (1954) a observé que le tiers de la D.B.O.<sub>5</sub> de tout le procédé provient de l'étape du lavage, où l'on sépare la pâte de la liqueur noire. Les autres deux-tiers proviendraient respectivement de l'étape de la récupération de la térébenthine et du drainage des planchers ainsi que des surplus des divers



réservoirs (tableau 6).

En guise de complément aux observations de Kleepe et Rogers sur les caractéristiques de l'effluent kraft, ajoutons qu'il est fréquent de retrouver des sels de sodium, de la lignine et des carbohydrates en dégradation dans l'effluent provenant du lavage de la pâte. Pour sa part Hammar (1970) explique l'origine de la mousse qui apparaît souvent dans l'émissaire des usines kraft. Selon lui, l'apparition de cette mousse serait attribuable au jet d'air qu'on infuse entre chaque étape de lavage. Soulignons que la formation de mousse est facilitée par la présence de substances spéciales telles que les sels de sodium, les acides gras et résineux.

Il ne faut pas oublier qu'une certaine partie de la liqueur noire reste accollée à la pâte après le lavage et ce n'est qu'à l'opération du tamisage qu'elle pourra être séparée de la pâte et entraînée à l'égout. Cette opération fournit la moitié de la lignine libérée à l'effluent.

Une autre particularité du potentiel polluant du procédé kraft aurait rapport au mode de cuisson. En effet, des spécialistes suédois se sont penchés sur le sujet et nous révèlent dans leur étude "SSVL Environment Care Project (1974)" qu'il existe effectivement des variations importantes dans les concentrations de matières polluantes à l'égout, dépendamment du fait que la cuisson se fasse en continu ou en étape. Le tableau 7 nous fait voir ces variations: on remarque que la quantité de D.B.O. provenant des condensés issus d'un lessiveur de cuisson en continu est inférieure à celle d'un lessiveur à cuisson par étape. Dans le cas de l'évaporation des condensés, la situation est inverse.

TABLEAU 6: Valeurs moyennes des divers paramètres caractérisant l'effluent kraft.

Paramètres	Unités
M.E.S.	150 à 300 mg / l
Solides totaux	1 200 à 2 070 mg / l
D.C.O.	350 à 500 mg / l
D.B.O <sub>5</sub>	110 à 300 mg / l

TABLEAU 7: Les différents niveaux de pollution issus d'un lessiveur et d'un évaporateur en continu, comparés à un lessiveur et un évaporateur à étapes.

Paramètres	Lessiveur à cuisson cont. lb/t pâte	Lessiveur à cuisson par étapes lb/t	Evaporateur à cuisson cont. lb/t	Evaporateur à cuisson par étapes lb/t
D.B.O.	5.72	10.78	19.8	12.1
M.E.S.	0.11	4.4	7.48	7.48
Sulfure	0.154	0.33	0.616	0.616

Il est à propos de souligner une autre des caractéristiques polluantes des usines kraft, soit la pollution atmosphérique. Selon Berkes et al. (1972) la principale source de pollution atmosphérique imputable au procédé kraft proviendrait du mauvais fonctionnement de la fournaise de récupération des liqueurs de cuisson. Il peut arriver par exemple que la fournaise ait une capacité inférieure à la production attendue. Pareille situation peut favoriser la formation des mercaptans et du sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ) qui s'échappent par la cheminée. On estime la formation des mercaptans à 2.2 lb par tonne de pâte produite. Comme autre source de la pollution de l'air, il faut mentionner la formation des condensés comme tels. Rappelons que les condensés sont des composés chimiques qui sont formés à la suite de la concentration des liqueurs noires pour des fins de récupération. Ces composés sont habituellement très volatiles et se présentent de diverses façons: sous forme de sulfure d'hydrogène ( $H_2S$ ), de méthyl mercaptan et de sulfure de diméthyle.

Il demeure un aspect qu'on a ignoré jusqu'à maintenant concernant la qualité des effluents du procédé kraft, en l'occurrence, la toxicité. Nous savons que la toxicité est généralement indépendante de la D.B.O. et des solides en suspension. L'aspect toxicité serait plutôt attribuable aux sulfures et aux mercaptans ainsi qu'aux savons à base de sulfate et de résine et à la térébenthine. Nous aborderons plus en détail l'aspect de la toxicité au chapitre traitant des impacts sur l'environnement des divers procédés de fabrication des pâtes et papiers.

#### 3.4.3 Le procédé de mise en pâte au bisulfite

L'autre procédé de mise en pâte à partir de l'énergie chimique le plus fréquemment utilisé est celui au bisulfite. Dans ce dernier procédé,

l'élément actif n'est pas, comme on pourrait le croire, le bisulfite de calcium ou de magnésium, mais l'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ). Le ( $\text{SO}_2$ ) réagit à chaud avec la lignine du bois et la transforme en acides lignosulfoniques qui sont ensuite éliminés en même temps qu'une partie des hémicelluloses. Le traitement n'affecte pas la cellulose et les hémicelluloses restantes, mise à part une faible dégradation par un raccourcissement limité de leurs chaînes macromoléculaires.

La fabrication de la pâte au bisulfite implique deux opérations différentes de celles du procédé kraft: la préparation sur place de la liqueur de cuisson pour des raisons économiques et l'évacuation des liqueurs résiduelles qui, en principe, ne sont pas récupérées.

Pour ce qui concerne les autres opérations de base pour la préparation de la pâte au bisulfite, elles sont plutôt semblables à celles décrites pour la pâte kraft. Les seules variations existantes dépendent des propriétés du bois utilisé, de l'uniformité et de la qualité des copeaux, de la composition de l'acide de cuisson. Les autres changements se rapportent aux conditions de la cuisson comme telle: pression, température et durée.

Le fait de varier la température peut influencer la dissolution de l'hémicellulose. Ainsi, pour une température plus basse, l'hémicellulose se dissout plus lentement, la vitesse de dissolution s'accroît avec une augmentation de température. Par ce procédé, le choix d'une température donnée permet de déterminer approximativement la proportion d'hémicellulose et de lignine pour une pâte donnée.

#### 3.4.3.1 La préparation de la liqueur de cuisson

En se rapportant à la figure 15, on retrouve les principales étapes

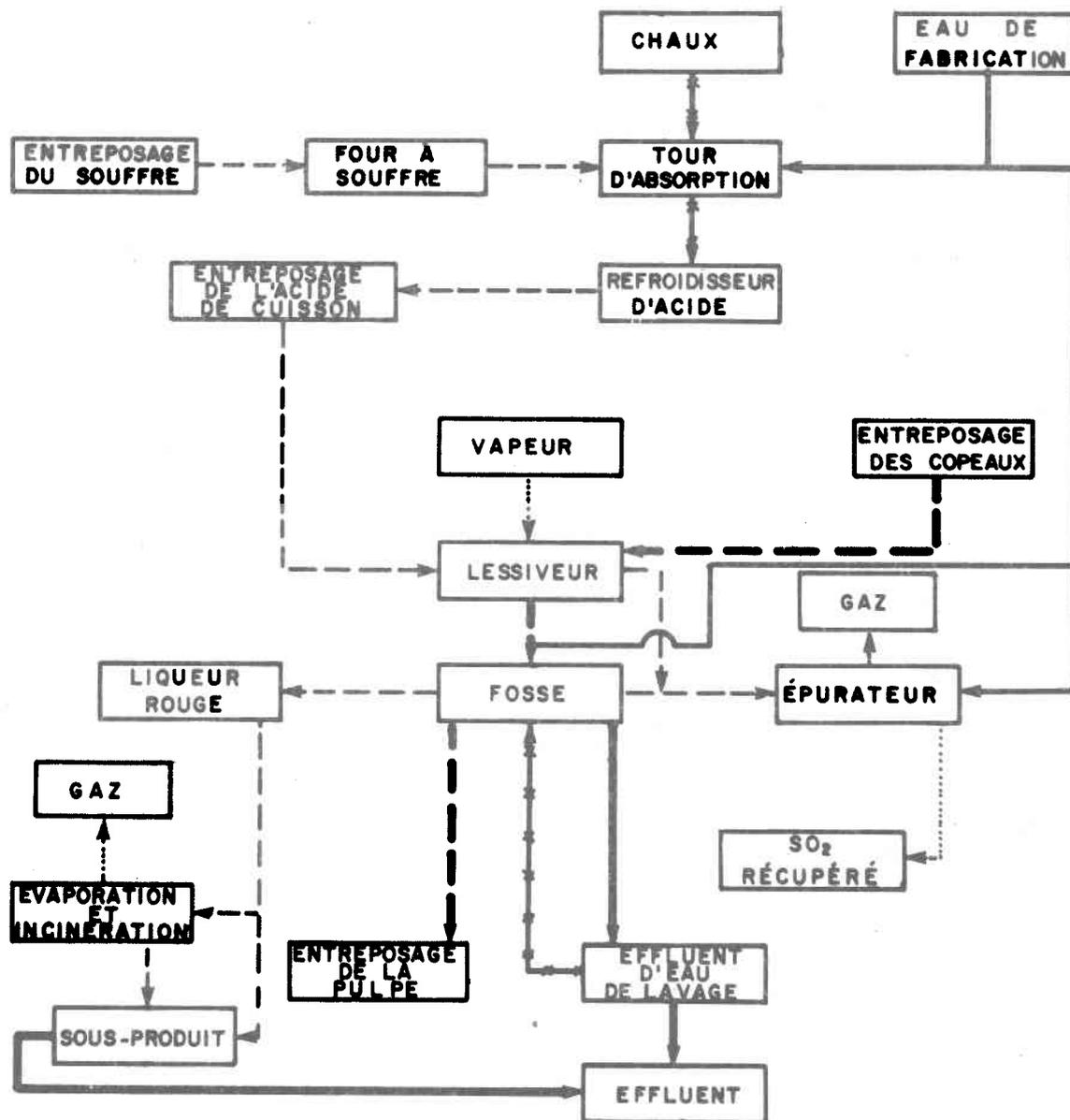
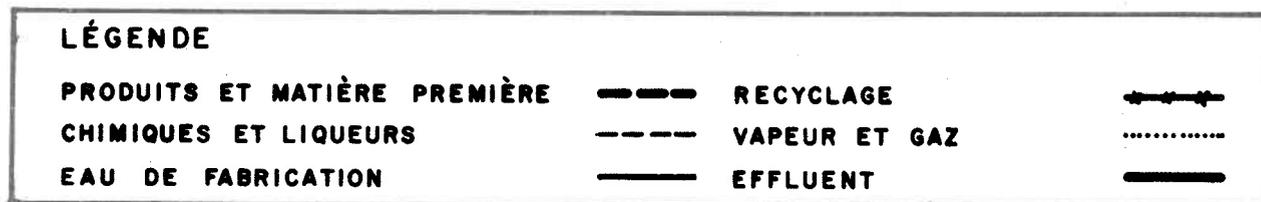
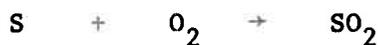


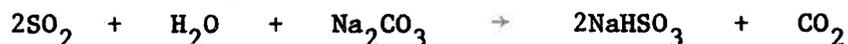
FIGURE 15. DIAGRAMME DU PROCÉDÉ DE MISE EN PÂTE AU BI-SULFITE.

de la production de la pâte au bisulfite. Parmi ces opérations, la préparation de la liqueur de cuisson est primordiale. On obtient cette liqueur de cuisson au bisulfite en faisant fondre du soufre dans un four rotatif. Le soufre, une fois fondu, est ensuite brûlé par l'addition d'une quantité établie d'air, formant ainsi un gaz. Ce gaz sulfureux, qui n'est autre que l'anhydride sulfureux ( $\text{SO}_2$ ) est introduit sous pression au bas d'une tour dans laquelle on introduit par le haut une solution de carbonate de sodium ( $\text{NaCO}_3$ ), et de l'eau. Le dioxyde se combine alors avec l'eau et le carbonate de sodium pour donner un bisulfite de sodium. Le gaz ( $\text{CO}_2$ ) est expulsé dans l'atmosphère par le haut de la tour. On emmagasine ensuite la solution obtenue dans un réservoir spécial.

Formation du bisulfite de Sodium



souffre + oxygène = dioxyde de soufre  
de l'air



dioxyde de souf- fre	eau	carbonate de sodium	bisulfite de sodium	dioxyde de carbone
----------------------------	-----	------------------------	------------------------	-----------------------

La base alcaline servant à la préparation de la liqueur de cuisson n'est pas obligatoirement composée de sodium; elle peut être de calcium, de magnésium ou d'ammoniaque. Une liqueur normale peut contenir entre 5 et 6% de  $\text{SO}_2$  au total, dont 1 à 1.2% combiné sous forme de bisulfite. Le dioxyde de soufre est obtenu à haute température pour être ensuite soumis à une baisse radicale de température afin de limiter la formation de  $\text{SO}_2$ .

### 3.4.3.2 Cuisson de la pâte au bisulfite

La cuisson de la pâte au bisulfite, tout comme celle au sulfate peut s'effectuer en étapes ou en continu dans d'immenses lessiveurs.

Pour une cuisson par étapes, la première opération consiste à remplir le lessiveur de copeaux. La façon d'alimenter le lessiveur en copeaux est assez importante, car elle peut influencer la capacité du lessiveur, réduire la consommation des liqueurs de cuisson et faire varier l'homogénéité de la pâte. Le rôle de la vapeur dans l'alimentation du lessiveur s'avère aussi très important. La vapeur est introduite sous pression par le sommet de la tour et provoque l'expulsion de l'air par la base. Une fois le lessiveur chargé de copeaux baignant dans la vapeur, on laisse pénétrer l'acide de cuisson qui doit couvrir et pénétrer le plus uniformément possible les copeaux. On élève ensuite la température jusqu'à 105°C et on la maintient durant quelques heures de façon à permettre la sulfonation de la lignine.

Après cette étape, on élève à nouveau la température jusqu'à 125 ou 150°C dépendamment du type de pâte que l'on veut obtenir. C'est à partir de ce moment que la lignine commence vraiment à se dissoudre. Cette série de réactions provoque une augmentation de pression dans le lessiveur, laquelle est contrôlée par une soupape et maintenue entre 7 et 10 atmosphères. On vérifie si la cuisson est terminée en prenant des essais de couleur sur la liqueur usée. Une fois le degré de cuisson désiré atteint, on baisse alors la pression dans le lessiveur.

### 3.4.3.3 Lavage et tamisage de la pâte

Comme dans le procédé kraft, la liqueur usée est séparée de la pâte

par une série de lavages successifs à contre-courant à travers des filtres, ce qui a pour conséquence de diluer la liqueur usée. La liqueur résiduaire obtenue à la suite de la cuisson au bisulfite s'appelle communément liqueur rouge. L'évacuation de la liqueur rouge demeure une des plus importantes sources de pollution dans le domaine des pâtes à papier. A cause du faible coût de production de la liqueur de cuisson combiné à certaines difficultés techniques rencontrées au niveau de la récupération, on a longtemps rejeté directement à l'effluent la liqueur de cuisson.

Dans les dernières décennies, les principaux pays producteurs de pâtes bisulfites eurent à faire face à certaines normes anti-pollution et, plus récemment, avec la crise de l'énergie, on attache plus d'importance à tout ce qui peut être considéré comme combustible industriel. Pour ces raisons, les centres de recherche papetiers ont accordé une attention particulière à la récupération des liqueurs de cuisson au bisulfite. La Scandinavie et les Etats-Unis qui sont considérés comme d'importants producteurs de pâte au bisulfite ont mis au point un type de fournaise pouvant brûler les matières sèches provenant de la liqueur de cuisson. Il existe aussi une autre méthode à partir de laquelle on peut récupérer une partie de la liqueur, soit en transformant en alcool par fermentation, une partie des matières organiques contenues dans les liqueurs.

On retrouve habituellement ces technologies au sein d'industries récentes, la vieille entreprise s'avouant généralement inapte à de pareils changements, ce qui contribue à conférer au procédé bisulfite sa réputation de procédé à haut potentiel polluant.

#### 3.4.3.4 Caractéristiques des effluents du procédé au bisulfite

Le tableau 8 tiré d'une étude américaine E.P.A. (1973) illustre clairement l'importance de la pollution émise par les moulins de mise en pâte au bisulfite.

En plus de l'importante charge polluante (D.B.O.<sub>5</sub> et solides en suspension) les effluents du procédé au bisulfite sont habituellement très acides, d'un pH variant de 2 à 3.

On compte aussi beaucoup de matières biodégradables comme les sucres du bois, les acides gras et les alcools, ainsi que des matières réfractaires comme la lignine et les tannins. Le tableau 9 (EPA, 1973) nous donne une idée de la différence du potentiel polluant pour le procédé au bisulfite où l'on récupère la liqueur de cuisson. En fait, dans les usines où l'on a un système de récupération pour les liqueurs de cuisson, on retrouve en moyenne quatre fois moins de D.B.O.<sub>5</sub>, ainsi que deux fois moins de solides en suspension. Sans parler de tous les autres produits que l'on est susceptible de retrouver dans les effluents d'une usine où l'on ne pratique pas la récupération. Le tableau 10 tiré d'une étude de Tyler et Gunter (1948) illustre cette situation. Voilà pourquoi la préparation de la pâte au bisulfite est considérée comme le procédé ayant le plus fort potentiel polluant.

Au Québec, près du tiers de la pâte chimique est produite à partir du procédé au bisulfite. Ajoutons que la majorité des moulins québécois qui s'adonnent à ce procédé sont assez vieux, plusieurs ayant plus de trente (30) ans d'âge. C'est pour autant de raisons qu'on attribue au-delà des deux-tiers de la pollution organique totale des pâtes et papiers du Québec au

**TABLEAU 8: Aperçu de la charge polluante et du débit à partir de la mise en pâte au bisulfite.**

(sans système de récupération de la liqueur)

Moulin	Débit à l'effluent gal. / t. de pâte	D.B.O. <sub>5</sub> mg/l	Solides en suspen- sion mg / l
1	79	465	12
2	67	620	87
3	66	1130	176
4	69	1150	86
5	87	1240	50
6	90	1003	46
7	61	1290	75
<b>Moyenne:</b>	74	986	76
<b>Erreur de la moyenne</b>	±4.24	±121	±19

**TABLEAU 9:** Aperçu de la charge polluante et du débit à partir de la mise en pâte au bisulfite.

(avec système de récupération de la liqueur)

Moulin	Débit à l'effluent gal. / t. de pâte	D.B.O. <sub>5</sub> mg / l.	Solides en suspen- sion mg / l.
1	70	195	20
2	65	225	32
3	59	237	51
4	80	287	49
<b>Moyenne:</b>	68.5	236	38
<b>Erreur de la moyenne</b>	±4.4	±19.2	±7.4

TABLEAU 10: Aperçu des différents composés susceptibles de se retrouver dans les liqueurs usées de cuisson au bisulfite.

Composés	Concentration mg/l
Acide formique	0.63
Acide acétique	4.68
Méthanol	1.28
Ethanol	0.17
Acétone	0.13
Pentose	2.55
Hexose	17.50
Lignine	61.50
Divers	29.30

procédé bisulfite. Même s'il n'y a aucune usine de pâte au bisulfite sur le bassin de la St-François, on a quand même tenu à caractériser ce procédé afin de conférer un caractère souple et général à l'étude entreprise. De plus, l'importance de la mise en pâte au bisulfite au Québec pourrait éventuellement justifier l'application de la méthode proposée sur un autre bassin.

### 3.5 Le principe de la mise en pâte mi-chimique

Les pâtes mi-chimiques sont caractérisées par un rendement compris entre 65 et 85%. La dite méthode préconise la fabrication de la pâte à partir de tous les bois feuillus. Cette technique fut mise au point aux Etats-Unis et prend l'étiquette du "N.S.S.C. Process" (i.e. Neutral Sulfite Semi-Chemical Process) autrement dit: le procédé au sulfite neutre de sodium ou monosulfite. A travers la figure 16 on peut retrouver les principales étapes de la mise en pâte mi-chimique.

Le procédé utilise comme réactif une solution aqueuse de  $\text{Na}_2\text{SO}_3$ , tamponnée par du bicarbonate de soude pour maintenir un pH neutre. Les bois feuillus, débités en copeaux, sont introduits dans des lessiveurs d'acier inoxydable et cuits pendant quatre à six heures à des températures maximales comprises entre  $140^\circ$  et  $175^\circ\text{C}$  pour l'obtention d'une pâte foncée. Ce qui caractérise la mise en pâte N.S.S.C. par rapport aux méthodes strictement chimiques, c'est la dissociation des fibres qui est provoquée à partir de désintégrateurs à disques maintenus sous pression. Les copeaux commencent par être passés à la vapeur, puis sont comprimés dans une vaste tour remplie de solution chimique. Ils sont ensuite cuits sous pression dans cette même tour qui est reliée aux désintégrateurs par des conduits directs. En ce qui concerne les autres étapes du procédé, elles sont analogues à celles du pro-

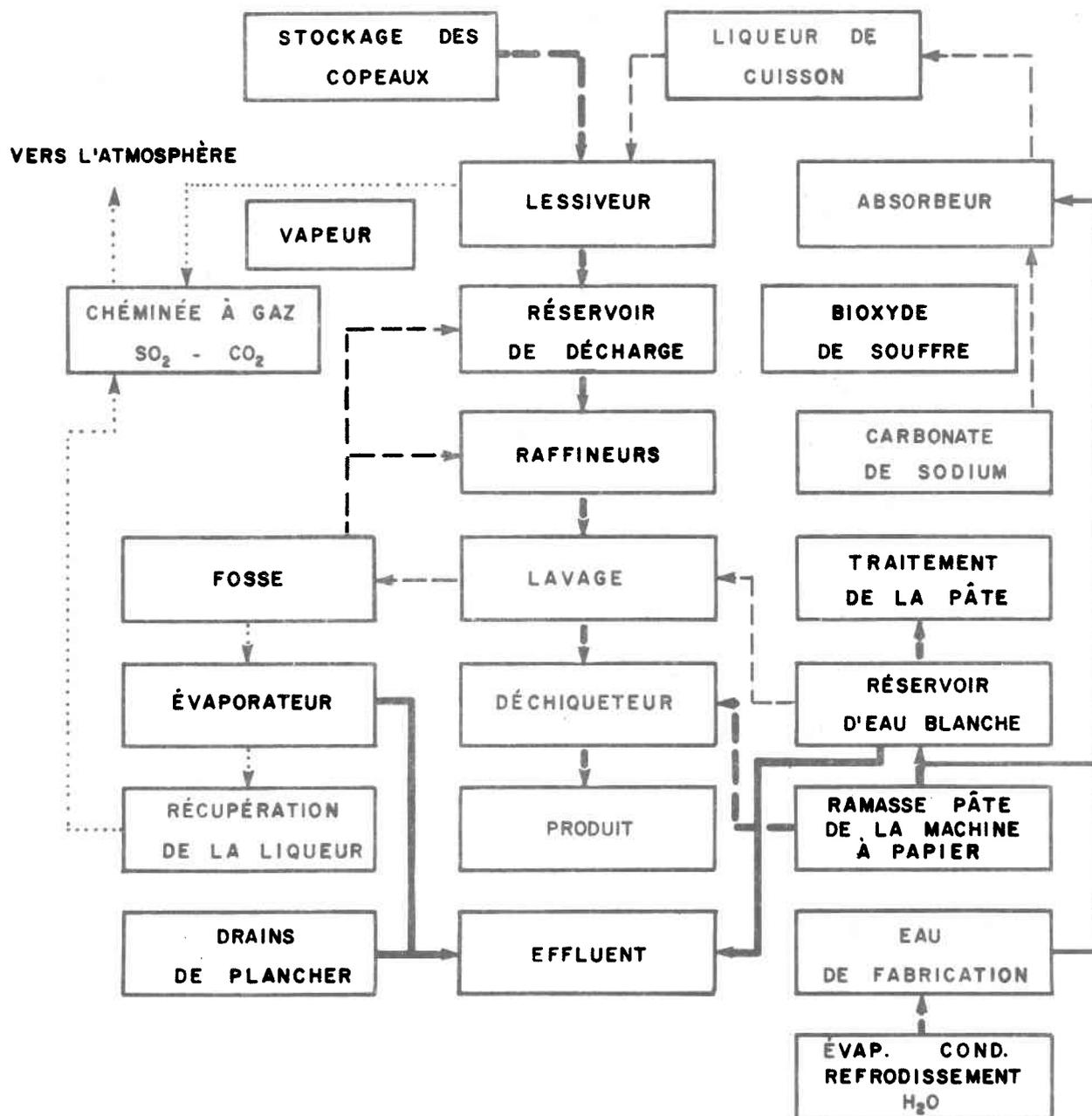
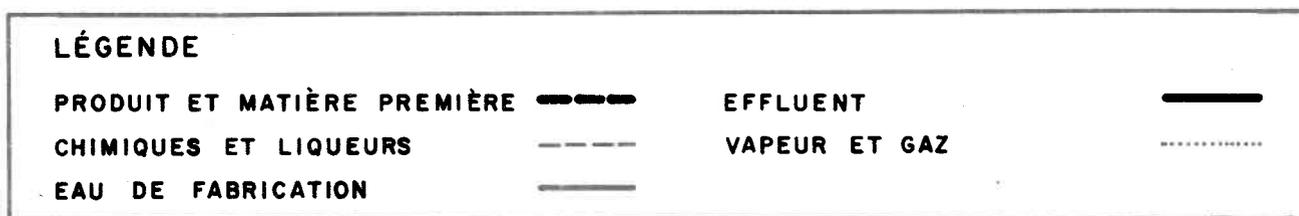


FIGURE 16. DIAGRAMME DU PROCÉDÉ MI-CHIMIQUE

cédé kraft et de la méthode au bisulfite.

Ici, comme pour la mise en pâte au bisulfite, on se heurte à un sérieux problème qui n'a pas encore reçu de solution satisfaisante. Ce problème consiste en l'évacuation des liqueurs résiduelles dont la concentration en matières organiques est trop basse pour permettre une combustion rentable après évaporation, ou toute utilisation secondaire.

### 3.5.1 Caractéristiques des effluents du procédé mi-chimique

Les effluents des moulins de mise en pâte mi-chimique se caractérisent par une concentration élevée de la demande bio-chimique en oxygène variant de 1 500 à 5 000 mg/l. La présence de matière en suspension est aussi importante, variant de 400 à 600 mg/l. La couleur et la demande chimique en oxygène sont aussi des paramètres importants dans la caractérisation des effluents du procédé mi-chimique. Etant donné qu'on ne pratique pas la récupération des liqueurs de cuisson, les composés mentionnés au tableau 10 sont aussi susceptibles de se retrouver à l'effluent.

### 3.6 Le blanchiment de la pâte

Dans la fabrication du papier, la blancheur a toujours été intuitivement associée à la notion de qualité. C'est principalement pour cette raison qu'on s'est toujours ingénié à améliorer cette propriété dans les usines papetières. Dès la fin de XVIII<sup>e</sup> siècle on connaissait déjà une façon élémentaire d'améliorer la blancheur du papier. En fait, on étendait les feuilles de papier encore humides sur des prés ou les rayons ultraviolets du soleil provoquaient la formation d'oxygène naissant qui détruisait in situ les composants colorés dont la présence à très faible dose altérait la blancheur du papier.

De puis lors, la technique du blanchiment a fait des progrès, surtout avec la découverte du chlore. On arriva rapidement à mettre au point un procédé de blanchiment pratique. Comme le chlore est un élément gazeux difficilement manipulable, on eut l'idée de le faire réagir sur un lait de chaux éteinte, ce qui donna naissance à l'hypochlorite de calcium qui fut longtemps un composé de base pour le blanchiment de la pâte. Par ailleurs, l'abaissement du prix de la soude a permis de substituer cet élément à la chaux, ce qui permettait de fabriquer à bon compte l'hypochlorite de sodium. Par la suite, on mit au point la préparation de l'hypochlorite de calcium, ce qui constituait un oxydant énergétique. Beaucoup plus récemment, on raffina encore le principe en utilisant le peroxyde d'hydrogène et de sodium, ainsi que le bioxyde de chlore. On en vint aussi à employer des agents réducteurs tels le métabisulfite de sodium, l'hydrosulfite de sodium et de zinc. Voilà très brièvement l'historique et la description des procédés utilisés dans le blanchiment des pâtes à papier.

Pour les fins de l'industrie papetière on est arrivé à classer le papier à partir d'un degré de blancheur variant entre 1 et 100, où la valeur 100 se voit accordée au corps le plus blanc connu, l'oxyde de magnésium fraîchement préparé. C'est ainsi qu'on est arrivé à caractériser les papiers de très belle apparence entre 88 et 92, tandis que les papiers ordinaires qui servent dans la presse quotidienne sont classifiés entre 60 et 66. La même échelle de valeurs est aussi applicable pour la pâte comme telle. C'est ainsi que se classent entre 58 et 64 les pâtes de type mécanique ou mi-chimique. Les pâtes chimiques au bisulfite se trouvent entre 60 et 66, tandis que les pâtes kraft se situent entre 20 et 30. Le but des opérations de blanchiment est donc d'élever ces valeurs au niveau souhaité par les utilisateurs du papier.

### 3.6.1 Le blanchiment des pâtes à haut rendement

Comme on l'a vu auparavant, les pâtes mécaniques ou mi-chimiques sont recueillies à la sortie des défibreurs à meules ou des désintégrateurs à disques pour être lavées et épurées sur des tamis et des filtres. La pâte est ensuite acheminée au blanchiment dans d'immenses cuves munies d'hélices où elles reçoivent les agents chimiques tout en décrivant un long parcours.

Le blanchiment des pâtes à haut rendement peut se faire en adoptant les méthodes mixtes, combinant l'utilisation d'un agent oxydant (généralement l'eau oxygénée) avec celle d'un agent réducteur (habituellement l'hydrosulfite de sodium).

### 3.6.2 Le blanchiment des pâtes à bas rendement

Les pâtes chimiques à bas rendement (les pâtes au bisulfite et au sulfate) sont habituellement blanchies en un ou plusieurs stades, mais toujours avec les seuls agents oxydants. Le blanchiment en un stade a été longtemps la seule façon industrielle de blanchir la pâte à bas rendement; on utilisait alors l'hypochlorite de calcium. Avec le temps, on est arrivé à mettre au point le blanchiment à plusieurs étapes, le nombre d'étapes successives pouvant varier de quatre (4) à sept (7) comme montré à la figure 17.

Le premier stade utilise le chlore gazeux qui a comme propriété de se fixer à la lignine résiduelle en engendrant des composés solubles en milieu alcalin. La deuxième étape est une sodation, i.e. un traitement à la soude qui a pour but de solubiliser les chlorolignines précédemment formés. Le troisième stade est un nouveau traitement au chlore suivi d'une au-

TABLEAU 11: Caractéristiques des effluents de blanchiment des pâtes kraft et bisulfite.

Type de pâte	D.B.O. mg/l.	M.E.S. mg/l.	Couleur	pH
Kraft à base de bois mou	120 à 150	130 à 150	>5000	2.3
Kraft à base de bois dur	500 à 700	190 à 200	>5000	2.3
Pâte au bisulfite	200 à 450	100 à 200	>3000	1.3

tre sodation. Dans le cas des pâtes aux sulfates qui ont la propriété naturelle d'être très foncées, on ajoute une étape au bioxyde de chlore qui est considéré comme un oxydant plus doux que l'hypochlorite et qui, par le fait même, endommage moins les fibres. Finalement, on retrouve un stade constitué par l'anhydride sulfureux qui a pour but de neutraliser toutes éventuelles traces de chlore après le lavage de la pâte.

Evidemment, plus il y a d'étapes de blanchiment, plus on est susceptible d'obtenir un niveau de blancheur élevé. Par conséquent, le degré de pollution provenant de l'étape du blanchiment est en proportion du niveau de blancheur espéré.

### 3.6.3 Quelques caractéristiques des effluents du procédé de blanchiment

Comme l'on peut s'en rendre compte à la figure 17, d'importantes quantités d'eau sont susceptibles d'être impliquées à l'étape du blanchiment. Howard et Walden (1971) estiment à 14 000 gallons la quantité d'eau nécessaire au blanchiment d'une tonne de pulpe. De plus, on trouve généralement un système de recirculation de l'eau au niveau des étapes avancées du blanchiment, ce qui permet une certaine économie de la ressource. Malgré la très grande quantité impliquée et, par le fait même, un fort taux de dilution, il est reconnu que les eaux de lavage provenant de l'extraction par caustification ont le plus fort potentiel toxique de tous les effluents du procédé kraft.

Les principaux paramètres caractéristiques du procédé de blanchiment sont l'apport en matières en suspension (les fibres), la demande biochimique en oxygène, ainsi que la couleur et le pH. Le tableau 11 nous donne un aperçu des potentiels polluants des effluents provenant du blanchiment

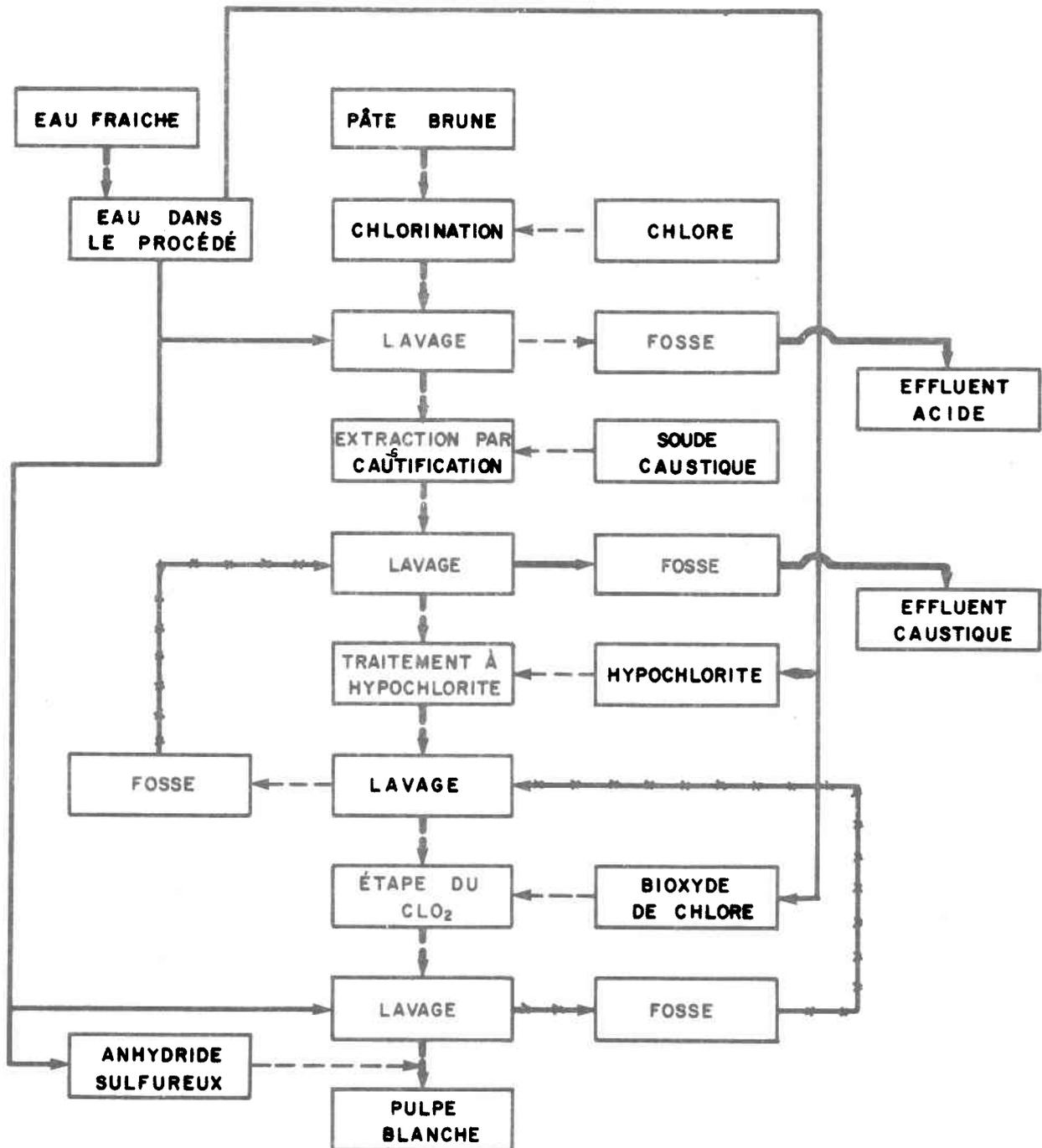
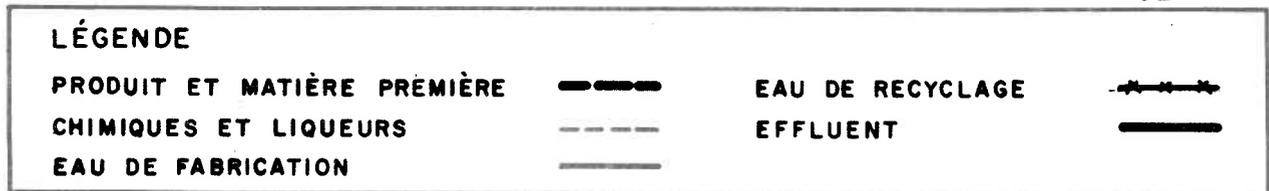


FIGURE 17. DIAGRAMME DU PROCÉDÉ DE BLANCHIMENT À QUATRE ÉTAPES

des pâtes au bisulfite et kraft.

#### 3.6.4 Le cas du mercure

La pollution par le mercure est depuis toujours associée en grande partie aux usines de pâtes et papiers. Si on n'en n'a pas parlé jusqu'à maintenant, ce n'est pas par oubli ou par négligence. C'est parce que le cas du mercure peut faire à lui seul l'objet d'un cheminement critique comme celui entrepris dans cette thèse. De plus, la majorité de la littérature concernant la pollution par les pâtes et papiers ne parle pas du mercure. En effet, le mercure ne provient pas du procédé de fabrication du papier, mais provient de la préparation du chlore qui est utilisé dans le procédé du blanchiment comme élément de base. Le chlore gazeux est produit dans les usines de chlore-alkali (par exemple la C.I.L. à Shawinigan) où l'on utilise une grande quantité de mercure comme cathode dans le processus d'électrolyse du chlore et de la soude caustique. Il arrive que pour des raisons économiques ou pratiques, les compagnies de pâtes et papiers ont leur propre industrie de chlore-alkali sur le terrain de l'usine, et c'est à partir de ce moment là que l'on associe la pollution par le mercure à la production de pâtes et papiers. C'est pourquoi on n'a pas tenu à incorporer la problématique du mercure dans notre analyse d'impact des usines de pâtes et papiers, étant donné qu'elle est spécifique aux usines de chlore-alkali.

#### 3.7 La fabrication du papier

Les pâtes, qu'elles soient mécaniques, chimiques ou mi-chimiques, recueillies à la sortie des appareils qui exécutent les derniers traitements (blanchiment, lavage, épuration) se présentent comme des suspensions de fibres dans une grande quantité d'eau (une partie de pâte pour deux cent par-

ties (200) d'eau).

Autrefois manuelle, la fabrication du papier est aujourd'hui hautement mécanisée et fait appel à des machines des plus compliquées. Une machine à papier peut produire une feuille continue de près de trente (30) pieds de large à une cadence de plus d'un demi-mille par minute et à des tolérances de l'ordre de dix millièmes de pouce. La machine à papier la plus caractéristique est de type Foudrinier. Sur la Foudrinier, la solution de pâte est versée dans une caisse d'arrivée faisant toute la largeur de la partie humide de la machine. Par une fente étroite, appelée "règle", aménagée sur toute la longueur de cette caisse, la solution passe sur une toile métallique continue qui se déploie à une vitesse d'environ trente (30) milles à l'heure.

Maintenue au niveau par tension et par une rangée de rouleaux de soutien, la toile métallique transporte le mélange sur une distance d'environ trente (30) pieds. Pendant ce déplacement, une bonne partie de l'eau s'égoutte et la toile passe au-dessus de caisses aspirantes qui accélèrent le séchage. Ces caisses ont le dessus plat et perforé de façon à permettre une certaine succion qui favorise l'adhésion de la solution de pâte contre la toile métallique, le tout permettant à la pâte de se débarrasser à nouveau d'une partie de son eau. Il arrive qu'à la fin du trajet de la toile, la solution de pâte contenant beaucoup moins d'eau, elle prend l'allure d'une nappe feutrée qui passe ensuite sur un rouleau perforé contenant d'autres caisses aspirantes qui jouent le même rôle que les caisses à dessus plat. La feuille de papier a désormais assez de consistance pour supporter son propre poids, même si elle est encore constituée d'une partie de fibres et de cinq parties d'eau. La feuille de papier est ensuite placée sur un épais tapis de laine où elle est acheminée à travers une série de rouleaux

compresseurs qui ont pour mission d'expulser une bonne quantité d'eau.

Le papier maintenant a une consistance approximative d'une partie de fibres pour deux parties d'eau. On continue alors le traitement en l'acheminant sur une série de cylindres chauffés intérieurement à la vapeur; ces cylindres sécheurs sont disposés sur deux rangées superposées. La feuille de papier passe sur le premier cylindre de la rangée supérieure, puis, sous le premier de la rangée inférieure, et ainsi de suite jusqu'au dernier cylindre. Ce va et vient à travers la série de cylindres peut faire évaporer une tonne d'eau par minute. L'air humide et la chaleur qui se dégagent de cette étape du processus sont aspirés par un immense ventilateur.

Après le séchage, le papier s'engage à travers une calendre où il reçoit sa touche finale. Cette machine comprend plusieurs rouleaux métalliques superposés, mesurant près de douze (12) pouces de diamètre. Le papier serpente à travers la calendre de haut en bas. Au fur et à mesure que la feuille descend à travers les rouleaux, la pression à laquelle il est soumis augmente graduellement pour en arriver à donner la finition désirée. On dit que sur une machine rapide, il peut s'écouler seulement dix ou onze minutes entre le moment où la solution de pâte s'engage sur la toile métallique et celui où elle sort de la machine. Au bout de la machine, le papier est enroulé, coupé à la largeur désirée puis rebobiné de façon qu'on puisse l'épisser à tout endroit où il est déchiré, puis emballé.

### 3.7.1 Le caractère polluant de la machine à papier

La pollution provenant des machines à papier comme telle n'est pas la plus importante de tout le procédé. Même si au départ il y a une grande quantité d'eau impliquée, il y en a relativement peu qui se retrouve

finalement à l'égout. Ceci s'explique par le fait qu'un système de recyclage s'adaptant aux machines Foudrinier récupère une bonne proportion de l'eau blanche qui est alors réinjectée dans le procédé. Cette eau blanche transporte de la pâte diluée, donc, par conséquent, une bonne quantité de matières en suspension qui finalement amènent une demande biochimique en oxygène. Le tableau 12 tiré d'une étude américaine E.P.A. (1973) donne une idée des quantités d'eau impliquées, ainsi que du potentiel polluant de la fabrication du papier comme telle. Les matières en suspension comprises dans l'eau blanche sont à très forte majorité (90%) organiques; elles se composent en particulier de fibres ainsi que de particules fines provenant de la pâte. Le pH à l'effluent des machines à papier est habituellement neutre.

TABLEAU 12: Les pertes provenant de la machine à papier.

Moulin	Débit à l'effluent 1000 gal./t. prod.	D.B.O. <sub>5</sub> mg / l.	M.E.S. mg / l.
1	2.6	14	21
2	3.7	19	16
3	5.6	10	12
4	1.9	8	21
5	11.5	20	15
6	14.0	26	19
7	15.2	24	16

## Chapitre 4

### 4.1 Impact des usines de pâtes et papiers sur l'environnement

Au cours du chapitre précédent on a décrit brièvement les principales méthodes de mise en pâte et de fabrication du papier. Le but premier de cette description était d'établir le plus succinctement possible chacune des relations entre les six premiers niveaux du graphe de cohérence (fig. 10). Cet exercice permettait de regrouper sur un même niveau, un ensemble d'éléments ayant des caractéristiques communes. Par exemple, sur un même pallier on peut retrouver diverses étapes du procédé, tandis que sur un autre niveau on trouve l'ensemble des paramètres physico-chimiques influencés par le rejet des effluents de pâtes et papiers.

La prochaine partie de ce mémoire poursuivra les mêmes objectifs, mais pour les niveaux supérieurs du graphe de cohérence. En fait, tout en s'appuyant sur la littérature scientifique, on tentera d'établir le comportement des différentes composantes de l'environnement aquatique face aux modifications apportées à la qualité du milieu récepteur.

### 4.2 L'impact des usines de pâtes et papiers sur la vie aquatique

Le premier aspect qui sera souligné donnera un aperçu des conséquences globales des effluents de pâtes et papiers sur la vie aquatique en général.

Westfall (1949) avait déjà une idée bien arrêtée concernant le potentiel polluant des usines de pâtes et papiers versus l'environnement aquatique. Selon lui, tous les effluents provenant des processus industriels déjà décrits seraient éventuellement dommageables à un niveau quelconque de la vie aquatique. Les principaux paramètres à surveiller selon Westfall seraient la matière en suspension (M.E.S.) et plus particulièrement la menace que représentent les fibres du bois, compte tenu de la lenteur avec laquelle elles se dégradent dans l'eau. Vient ensuite la demande biochimique en oxygène (D.B.O.) qui représente un paramètre important dans la gamme des paramètres affectés par les déversements de pâtes et papiers. Les principales sources de D.B.O. étant les composantes du bois comme telles ainsi que les substances servant aux diverses opérations de mise en pâte. Westfall ne laisse pas sous silence l'effet toxique de certains composés bien spécifiques aux pâtes et papiers. Ces quelques paramètres mis en évidence par cet auteur feront l'objet d'une attention particulière de notre part.

#### 4.2.1 Le recouvrement du fond à partir de la matière en suspension émise par les usines de pâtes et papiers

Comme il fut mentionné en parlant des diverses caractéristiques polluants des usines de pâtes et papiers, ces usines envoient chaque jour à l'effluent des tonnes de matière en suspension. Cette dernière se compose de multiples éléments qui sont tantôt facilement biodégradables et tantôt réfractaires comme dans le cas des fibres de bois.

Un premier impact qui peut être encouru par la présence de la matière en suspension dite "réfractaire" à la biodégradation, serait le recouvrement graduel du lit du milieu récepteur (lac ou rivière). Ce phénomène peut provoquer plusieurs répercussions dommageables à la vie aquatique.

Cette couche de matières organiques accumulées sur le fond peut diminuer la productivité du milieu en provoquant par exemple la suffocation des organismes benthiques. Pareille éventualité se répercute directement sur la chaîne trophique. Une autre conséquence pouvant découler du recouvrement du fond par une couche de matière organique serait la destruction de certains types de frayères qui ne peuvent exister souvent que sur des fonds bien particuliers. S'il y a destruction des sites de fraie, la population peut être mise en danger. Vallin (1939) démontre ces divers aspects provoqués par le recouvrement du fond. Il insista surtout sur le fait qu'il existe un lien direct entre certains organismes benthiques et les poissons qui en dépendent pour leur nourriture. Finalement, Vallin souligna un aspect intéressant qui peut découler de cette modification du support biologique, soit la possibilité que cette nouvelle couverture du fond soit colonisée par certains champignons ou bactéries indésirables.

#### 4.2.2 La matière en suspension peut provoquer des dommages mécaniques aux poissons

Un autre aspect négatif découlant de la mise en suspension d'une grande quantité de matières solides, en particulier les fibres de bois, se traduit par nombre de sérieux dommages mécaniques aux poissons. McLeod et Smith (1966) ont réalisé une intéressante étude à ce sujet, où ils ont mis en évidence les diverses formes de dommages mécaniques pouvant être faits aux poissons. Le dommage le plus courant serait le colmatage des branchies par les fibres de bois. Il arrive même que certaines concentrations de fibres peuvent provoquer la mort de certaines espèces de poissons. Betts et Wilson (1967) recommandent à cette effet que la concentration de

solides en suspension ne doit pas être au-dessus de 25 mg/l. pour ne pas mettre en cause le bien-être des poissons. Jones (1964) fit une expérience dans ce sens avec des truites arc-en-ciel; il a réussi à faire survivre des truites pendant sept mois à des concentrations de fibres de bois allant de 50 à 100 mg/l. Il ne faut pas croire pour autant qu'il n'y avait aucun dommage. On est en mesure de croire qu'il a dû se produire un certain colmatage des branchies. En effet, il a déjà été observé qu'à cause de la nature de certains solides en suspension, les poissons ne peuvent se débarrasser de cette présence indésirable dans les branchies, ce qu'ils font aisément dans d'autres cas avec des sécrétions de mucus ou de simples éternuements. Jones observa ainsi qu'en augmentant la concentration à 200 mg/l., 50% de ses truites moururent en deçà de douze (12) semaines. Fry (1957) étudia ce réflexe auto-nettoyant au niveau des branchies. Il en arriva à la conclusion que ce mécanisme de défense occasionnait une dépense d'énergie musculaire hors de l'ordinaire. En plus de cet effort inhabituel, les spasmes respiratoires en question semblaient diminuer l'endurance des poissons à la nage.

Les "stress" précédemment identifiés ont à leur tour des implications écologiques importantes. Par exemple, le fait de diminuer l'appétit de à se déplacer influence plusieurs aspects de l'activité normale du poisson, le rend plus vulnérable aux prédateurs, nuit à sa croissance en diminuant sa capacité d'alimentation, donc, indirectement influence la biomasse du poisson. Ces dernières observations ont été analysées de plus près par Herbert et Richard (1963).

Donc, par le biais de la matière en suspension et en particulier à cause de la présence des fibres dans le milieu récepteur, on peut diminuer la densité de la population de poissons en les éliminant directement ou en

rendant leur nourriture plus rare, ou en affectant leur métabolisme normal, ce qui peut provoquer des répercussions à long terme.

#### 4.2.3 La matière en suspension influence le cycle de la photosynthèse

Il existe un autre aspect à ne pas négliger qui est attribuable à la matière en suspension: une grande quantité de matière en suspension augmente la turbidité et par conséquent, diminue la pénétration de la lumière, ce qui a pour effet d'influencer le cycle de la photosynthèse. Donc, jusqu'à une certaine mesure, toute la chaîne alimentaire peut être influencée par cet aspect: on sait que le phytoplancton dépend de la quantité de lumière qui pénètre dans le milieu, le zooplancton dépend du phytoplancton et de nombreux poissons dépendent de ces deux éléments de la chaîne trophique.

#### 4.2.4 La demande biochimique en oxygène

Les écosystèmes aquatiques reposent sur l'équilibre et la présence de certains paramètres physicochimiques pour assurer leur existence. Parmi ces paramètres l'oxygène dissous est certes l'un des plus critiques. Nous savons que la faune aquatique a besoin d'un minimum d'oxygène, mais il arrive qu'en introduisant des effluents chargés de matières biodégradables (comme c'est le cas avec les effluents des pâtes et papiers) on influence directement la disponibilité en oxygène du milieu. Il arrive même dans certains cas que l'on introduit tellement de matières organiques, que le milieu devient anaérobique, ce qui est fatal pour la majorité des organismes y vivant.

De nombreux auteurs ont abordé cet aspect dans leur recherche, Tully (1949) considère la réduction de l'oxygène dissous dans le milieu comme l'un des principaux aspects de la pollution des pâtes et papiers. On arrive à mesurer la consommation de l'oxygène dissous pour la dégradation de

la matière organique émise par les effluents en mesurant la D.B.O.<sub>5</sub>, i.e. la quantité d'oxygène consommée en cinq (5) jours par les bactéries qui travaillent à l'assimilation de la matière organique.

Il faut mentionner que toutes les matières organiques que l'on retrouve dans les effluents industriels ne sont pas également biodégradables. Prenons le cas de la lignine dans les effluents de pâtes et papiers; il appert que cette substance peut exiger une période de 90 à 140 jours pour s'oxyder. Il est évident que dans un pareil cas, les mesures de D.B.O.<sub>5</sub> d'un effluent ne tiennent pas compte de ces substances, c'est pourquoi on doit mesurer aussi la D.C.O. (demande chimique en oxygène). Lesauteur (1967) démontra l'importance de tenir compte des deux paramètres à la fois, dans les cadres de son étude sur la rivière Outaouais. Il observa par la mesure de la D.B.O.<sub>5</sub> que la rivière atteignait son taux normal de demande biochimique en oxygène approximativement dix (10) milles en aval d'Ottawa. Lorsqu'il tient compte de la D.C.O., le déficit en oxygène se fait sentir au-delà de soixante-dix (70) milles en aval de la capitale. Cette observation devrait être valable dans tous les cas où sur un cours d'eau, on a des usines de pâtes et papiers.

#### 4.2.5 L'oxygène dissous et l'écosystème aquatique

Tous les chercheurs s'entendent pour reconnaître l'importance capitale de l'oxygène dissous dans l'écosystème aquatique, mais ils ne semblent pas tous d'accord quand il faut parler de concentrations critiques. Certains chercheurs considèrent comme dose acceptable d'oxygène dissous, la quantité nécessaire pour qu'un poisson puisse survivre, peu importe les difficultés qu'il éprouve. D'autres auteurs sont plus stricts et considèrent comme concentration critique, non pas uniquement la survie du poisson, mais ils consi-

dèrent le bien-être apparent, comme la facilité à se déplacer par exemple. Dans cette question de concentration critique d'oxygène dissous, il faut tenir compte aussi des catégories de poissons impliqués. Par exemple, les poissons dits d'eau chaude n'ont certes pas les mêmes exigences que les poissons dits d'eau froide; il arrive même qu'à l'intérieur d'une même catégorie de poissons les exigences ne soient pas les mêmes.

Wilding (1939) réalisé une bonne revue de la littérature concernant les seuils d'oxygène dissous pour diverses espèces de poissons. Il trouva ainsi que le seuil critique pour "Ide doré" (Leuciscus Erythrophthalmus) était de 1.0 p.p.m. d'oxygène dissous et qu'à des concentrations inférieures à 0.71 p.p.m. la survie de cette espèce devient impossible. Wilding releva aussi qu'une concentration de 7.1 p.p.m. d'oxygène était largement suffisant pour la carpe (Cyprinus carpio); le seuil critique pour ce poisson se situait autour de 4.3 p.p.m., en deçà de quoi il éprouvait de sérieuses difficultés. On est arrivé aussi à déterminer le seuil critique de la truite à 1.14 p.p.m. d'oxygène pour une température de 6.5°C. et 3.4 p.p.m. pour une température de 25°C.

La température a une influence directe sur la consommation en oxygène par les divers organismes de l'écosystème. Cette exigence métabolique veut que pour une augmentation de température les organismes poikilothermes exigent une quantité d'oxygène plus grande que la quantité initiale. C'est pour cette raison que, la majeure partie du temps, les concentrations critiques d'oxygène sont fixées pour des températures données.

Wilding (1939) trouva aussi les concentrations critiques pour le poisson rouge (Cracius auratus), soit 0.56 p.p.m. pour une température de 11°C. et 0.6 p.p.m. à une température de 27°C.

Van Horn et al. (1949) étudièrent une autre facette de la disponibilité en oxygène pour l'écosystème aquatique. Ils ont observé que la concentration en oxygène dissous pouvait influencer le développement des oeufs de poissons. Ils ont fait leur expérience sur les oeufs de dorés jaunes (Stizostedion vitreum). Les résultats expérimentaux démontrent que pour une concentration de 3 p.p.m. d'oxygène dissous (O.D.) le temps de développement des oeufs est plus court (36 heures) que pour le cas où la concentration est de 2 p.p.m., le temps de développement étant alors de soixante-douze (72) heures. De plus, ils ont observé que durant ce laps de temps qui caractérise les concentrations différentes en oxygène dissous (O.D.), il y avait des différences dans le taux de mortalité ainsi que dans le potentiel d'activité des alevins.

Plus récemment, Jones (1964) estima que 6 à 7 mg/l. d'oxygène dissous à 5°-10°C constituait le seuil critique à l'activité normale de la truite arc-en-ciel (Salmo gairdneri). Hicks et Dewitt (1971) fixèrent les concentrations en O.D. en fonction du LT<sub>50</sub> (le temps nécessaire pour que 50% des poissons participant à une expérience meurent, compte tenu de certaines concentrations) dans des effluents de procédé kraft.

O.D. mg/l	LT <sub>50</sub> (hres)
3.4	11.0
4.1	16.5
4.8	16.5
5.6	17.5
6.6	27.0
8.1	56.0

Compte tenu de l'ensemble de ces observations, on peut être en accord avec le "U.S. Interior Dept" (1967) qui recommande une concentra-

tration minimale de 5 mg/l. pour les eaux chaudes et une concentration de 6 à 7 mg/l. pour les eaux froides. Diminuer ces concentrations par le biais de la pollution peut être des plus dommageable pour les diverses composantes environnementales. C'est pourquoi les usines de pâtes et papiers n'échappent pas à cette responsabilité face à l'environnement, étant donné l'importante quantité de matières organiques qu'elles déversent régulièrement par leurs effluents.

#### 4.2.6 Le potentiel polluant du chlore et de ses dérivés

Le chlore est un élément très toxique pour la vie aquatique. On le retrouve habituellement sous forme d'acides hypochloriques. Dans le cas des effluents de pâtes et papiers, le chlore est susceptible de se lier d'abord avec les composés à base de lignine, cette réaction nécessitant une condition de pH favorable. Plusieurs chercheurs s'intéressèrent à l'impact des composés chlorés sur l'écosystème aquatique. Taylor et James (1928) démontrèrent que les jeunes truites arc-en-ciel (Salmo gairdneri) ne pouvaient survivre plus de deux heures à des concentrations de 0.3 mg/l. de chlore. Pike (1971) fit des expériences sur la truite brune (Salmo trutta), il observa que des truites exposées à une concentration de 0.04 mg/l. de chlore à une température de 11°C, pendant deux minutes ne pouvaient survivre plus de 24 heures, même si on les remettait dans une eau fraîche. Il fit quelques autres expériences à diverses concentrations et ce n'était guère plus reluisant comme résultat. En effet, il démontre que des truites brunes (Salmo trutta) exposées pendant une période continue à une concentration de 0.03 mg/l. de chlore ne pouvaient survivre plus de sept (7) heures et demie. Même pour une concentration de 0.01 mg/l. la truite ne peut espérer vivre plus de quarante-cinq (45) heures. Jones (1964) s'intéressa aussi à l'impact des chlorures et observa que des truites arc-en-ciel (Salmo

gairdneri) ne pouvaient survivre plus de huit jours à des concentrations de 0.08 mg/l. de chlorure. Il établit même que le seuil de sécurité pour le chlore devrait se situer à 0.004 mg/l. Zillich (1972) pour sa part s'intéressa à la réaction des menés face au chlore. Il observa que le seuil léthal pour les menés "tête de boule" (Pimephales promelas) se situait entre 0.04 et 0.05 mg/l. de chlore.

On observa que même la fraie pouvait être influencée par la présence de chlore. Zillich (1972) indique qu'une concentration aussi faible que 0.085 mg/l. de chloramine pouvait presque suffire à éliminer la fraie des menés "tête de boule" et qu'une concentration de 0.043 mg/l. pouvait suffire à diminuer considérablement le nombre d'oeufs.

Sprague et Drury (1969) observèrent un étrange comportement de la truite arc-en-ciel (Salmo gairdneri) face au chlore. Les truites démontraient une antipathie accrue lorsqu'elles étaient placées pour quelques heures à des concentrations de chlore allant de 0.001 mg/l. à 1 mg/l.; par contre, cette antipathie semblait disparaître lorsqu'on laissa la truite pendant quatre jours à une concentration de 0.1 mg/l. On remarque même que la truite semblait attirée par l'eau chlorée.

#### 4.2.7 Le potentiel polluant des composés à base de soufre

Parmi les composés les plus toxiques émis par les usines de pâtes et papiers, on retrouve les composés sulfurés, lesquels ont fait l'objet de nombreuses recherches. Le tableau 13 tiré de l'étude de Brouzes (1975) offre un brillant aperçu des valeurs considérées comme critiques pour les produits sulfurés. Dans ce tableau on peut retenir que les éléments les plus toxiques sont l'anhydride sulfureux, le méthyl mercaptan, le sulfure de di-

TABLEAU 13: Synthèse des valeurs toxiques pour les produits sulfurés.

Paramètres	Concentrations critiques* mg/l.	Mort du premier poisson mg/l.	LC minimale mg/l. **	Daphnie	
				24h. LC <sub>50</sub> mg/l.	48 h. LC <sub>50</sub> mg/l.
Anhydride sulfureux	H <sub>2</sub> S	0.5 (a)	1.0 (a)	150 (c)	23 (c)
Methyl mercaptan	CH <sub>3</sub> SH	0.3 (e)	1.0 (e)	15 (c)	4 (c)
Sulfure de diméthyle	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S	0.9 (a)	1.2 (a)	—	54 (c)
Disulfure de diméthyle	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S <sub>2</sub>	0.5 (e)	0.9 (e)	—	—
Sulfoxyde de diméthyle	(CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> SO	—	—	—	—
Sulfure de sodium	Na <sub>2</sub> S	1.0 (a)	3.0 (a)	2 (c)	0.5 (c)
Thiosulfate de sodium	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0 (e)	3.0 (e)	5500 (c)	300 (c)
Sulfite de sodium	Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	—	5.0 (e)	3500 (c)	550 (c)
Sulfate de sodium	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2500 (a)	6700 (a)	10000 (c)	750 (c)
Hydrosulfate de sodium	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	2500 (e)	6700 (e)	100 (c)	—
Tetrathionate sodium	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	—	—	1800 (c)	100 (c)
Hydrosulfure de sodium	NaHS	0.3 (e)	1.8 (e)	—	—
Thiosulfite de sodium	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	10 (a)	35 (a)	—	—
Hydroxyde de sodium	NaOH	10 (e)	20 (e)	—	—

(a) Haydu et al (1956)  
 (b) Van Horn et al (1950)  
 (c) Jernelöv (1973)  
 (e) Cole (1935)

\* Concentration critique: quantité maximale de toxique pouvant être tolérée par les poissons sans causer la mort.

\*\* Concentration létale minimale: la plus petite quantité d'agent toxique pouvant causer 100% de mortalités.

TABLEAU 13: Synthèse des valeurs toxiques pour les produits sulfurés (suite).

Paramètres	LC minimale mg/l.			LC minimale provoquant la mort de tous les poissons	120 Hres LC <sub>50</sub> pour la truite
	Menés	Daphnies	Larves Ephéméroptères		
Anhydride sulfureux	1.0 (b)	1.0 (b)	1.0 (b)	1.0 (e)	0.7 (a)
Methyl mercaptan	0.5 (b)	1.0 (b)	1.0 (b)	0.5 (e)	1.0 (a)
Sulfure de diméthyle					
Disulfure de diméthyle	3 (b)	10.0 (b)	1.0 (b)	3.0 (e)	1.75 (a)
Sulfoxyde de diméthyle	5 (b)				
Sulfure de sodium	100 (b)			100 (e)	
Thiosulfate de sodium					
Sulfite de sodium				0.5 (e)	
Sulfate de sodium	100 (b)	100 (b)	100 (b)	5.0 (e)	20 (a)
Hydrosulfate de sodium					
Tetrathionate sodium					
Hydrosulfure de sodium					
Thiosulfite de sodium					
Hydroxyde de sodium					

- (a) Haydu et al (1956)  
 (b) Van Horn et al (1950)  
 (c) Jernelöv (1973)  
 (e) Cole (1935)

méthyle, le disulfure de diméthyle, le sulfoxyde diméthyle et le sulfure de sodium.

Seppovaara (1971) démontra clairement la toxicité des produits sulfurés quand il observa que des saumons et des perches ne pouvaient survivre au-delà de 96 heures quand ils sont soumis à une eau dont la concentration en soufre total atteint 0.4 à 0.6 mg/l. Jernelöv (1973) observa une toxicité accrue chez les poissons quand le sulfure total est en majorité composé d'anhydride sulfureux et de composés organo-sulfurés. A ce moment, la dose létale peut atteindre 0.25 mg/l.; il remarqua aussi de nombreux changements pathologiques dans les organes et dans le sang.

#### 4.2.8 La toxicité des effluents de pâtes et papiers et l'environnement

Parmi les principales sources de pollution associées aux pâtes et papiers, on reconnaît la présence de matières en suspension, les variations de l'oxygène dissous et des éléments toxiques.

Westfall (1948) caractérisa trois différents types d'éléments toxiques, le premier étant le toxique à effet direct qui provient principalement des composantes du bois comme tel (résines, acides gras, térébenthine, lignine, etc...) ou des produits chimiques servant à la cuisson du bois. L'autre grand type de toxique identifié se rapporte aux effets toxiques cumulés. Il arrive que par le jeu des dilutions à l'égout, les effets toxiques agissent à retardement. Le troisième type d'élément toxique identifié par Westfall se rapporte aux produits spécifiques provenant des différentes substances employées dans le procédé de mise en pâte.

Le dénominateur commun pour évaluer les divers effets toxiques des effluents de pâtes et papiers est l'application de la théorie des doses

léthales, i.e. une concentration donnée provoquant la mort chez 50% de la population exposée en un temps donné (habituellement 96 heures). Van Horn et al. (1950) furent parmi les rares chercheurs à avoir tenté de vérifier l'impact toxique des pâtes et papiers kraft sur différents organismes à la fois. Pour les poissons ils se servirent d'espèces assez sensibles: les menés (Notropis spilopterus; Notropis atherinoïdes). Ils choisirent aussi de s'interroger sur l'impact des toxiques à différents niveaux de la chaîne trophique. Ils choisirent une Cladocère, la daphnie, les larves d'insectes de Trichoptères, Plécoptères et Mégaloptères. Tous les essais furent réalisés en laboratoire dans des conditions contrôlées, la seule différence étant dans la grandeur de l'aquarium utilisé pour les poissons et les daphnies.

Le premier jalon de leur recherche visait à déterminer à partir d'une série d'expériences, quels étaient les composés provenant des eaux usées kraft qui pourraient être considérés comme toxiques. Le tableau 14 illustre les résultats de cette première phase expérimentale.

On peut retenir de ce tableau concernant l'ensemble des éléments considérés comme toxiques chez la méthode de mise en pâte kraft, que le méthyl mercaptan, le sulfure d'hydrogène, l'acide résineux sont parmi les plus toxiques. A partir de ces premières considérations il est intéressant de voir comment les autres organismes retenus ont pu se comporter avec les mêmes composés (tableau 15).

Cette étude dura au-delà de six mois et porta sur cinq (5) usines kraft où l'on effectua une bonne gamme d'analyses. La première partie de l'étude visait à identifier les composés les plus toxiques pour l'environnement. La deuxième partie cherchait à déterminer la quantité de chacune

TABLEAU 14: Les doses léthales minimales pour les menés, doses provenant des composés d'un effluent de pâte à papier kraft.

Composés	Doses léthales minimales (p.p.m.)
Hydroxide de sodium	100.0
Sulfure de sodium	3.0
Méthyl Mercaptan	0.5
Sulfure d'hydrogène	1.0
Thiosulfate de sodium	5.0
Formaldehyde	50.0
Chlorure de sodium	2500.0
Carbonate de sodium	250.0
Sulfate de sodium	100.0
Alcool méthylique	1000.0
Acide résineux (et sel de sodium)	1.0
Acide gras (et sel de sodium)	5.0

TABLEAU 15: Doses léthales minimales pour les Daphnies, les larves de Trichoptères et les larves de "Chironomides", doses provenant des composés d'un effluent de pâte kraft.

Composés	Concentrations léthales minimales en p.p.m. pour:		
	Daphnies	Larves de Trichoptères	Larves de Chironomides
Hydroxide de sodium	100.0	100.0	700.0
Sulfure de sodium	10.0	1.0	1000.0
Sulfure d'hydrogène	1.0	1.0	750.0
Methyl mercaptan	3.0	-	50.0
Sel de sodium, acide résineux	3.0	-	50.0
Sel de sodium, acide gras	1.0	-	-

des matières toxiques que l'on doit s'attendre à retrouver à l'effluent et leur concentration une fois rendues à la rivière. Le tableau 16 donne un aperçu des résultats d'analyse de la qualité des eaux usées d'un moulin typique de mise en pâte kraft.

La principale observation qu'on doit tirer de cette étude consiste à savoir que les analyses à l'effluent atteignent et dépassent fréquemment les doses léthales - en particulier pour les mercaptans et les savons à base d'acide résineux. Cela veut dire qu'en absolu, à l'effluent il y a de nombreux composés qui sont toxiques, mais lorsqu'on tient compte du taux de dilution en rivière il n'y a plus aucune dose léthale et cette observation est valable pour la majorité des cas, car les moulins sont habituellement installés sur des rivières qui ont un bon débit. Même dans le pire des cas, comme l'a supposé Van Horn, où l'on prendrait le taux de dilution le plus faible (94) avec les concentrations les plus fortes (25.8 p.p.m. pour les sulfures, 8.1 p.p.m. pour les mercaptans, 18.0 p.p.m. pour les acides résineux, 115 p.p.m., pour l'hydroxide de sodium et un pH de 9.4) on n'atteint pas encore les doses léthales.

Il ne faut pas croire pour autant que les usines de pâtes et papiers sont inoffensives pour le milieu récepteur et que les dangers ne résident que dans l'effluent comme tel. Ici, il faut remettre en question la notion de dose léthale ( $LC_{50}$ ). Ce concept de dose léthale est un concept arbitraire permettant de statuer au niveau des effluents. Mais le malheur est que certains expérimentateurs n'admettent pas qu'il y a toxicité, même si la dose léthale  $LC_{50}$  n'est pas atteinte. Cela veut dire que si 40% d'une population crève lorsqu'elle est soumise à une concentration donnée, on ne doit pas considérer cette concentration comme toxique. Et pourtant, l'expérience

TABLEAU 16: Résultats obtenus d'analyse d'eaux usées d'un moulin type pâtes et papiers kraft.

Echantillon No.	Taux de dilution en rivière	Sulfure ppm	Mercaptan ppm	Acides résineux ppm	Hydroxide sodium ppm	pH
1	170	0.7	1.5	5.0	6.6	8.6
2	178	1.5	4.1	18.0	61.4	9.9
3	185	1.0	1.2	5.0	12.0	9.0
4	275	18.4	12.0	18.0	114.0	10.6
5	224	0.2	0.7	3.0	0.0	8.2
6	142	0.9	1.6	3.0	0.0	8.2
7	123	0.8	1.6	3.0	14.7	8.7
8	173	0.2	1.4	5.0	0.0	8.3
9	173	0.2	1.2	2.0	0.0	7.6
10	166	0.0	1.2	3.0	0.0	7.9
11	153	0.2	1.1	3.0	0.0	8.4
12	157	0.0	0.6	2.0	0.0	8.3
13	156	2.1	1.9	3.0	13.3	8.9
14	113	0.4	1.6	3.0	4.0	8.5
15	96	0.0	3.1	5.0	9.3	8.7
16	94	25.8	8.1	18.0	115.0	9.4
17	136	3.6	5.1	5.0	13.7	8.9

montre que même si une substance ne cause pas directement la mort, elle peut provoquer suffisamment de dommages aux diverses composantes de l'écosystème aquatique pour mettre des populations en péril à plus ou moins long terme. On peut parler alors de doses subléthales, i.e. toutes substances introduites dans le milieu par l'homme et qui sont la cause d'une détérioration quelconque au niveau de la qualité de la vie d'une espèce donnée. Cette notion (la dose subléthale) reconferme aux usines de pâtes et papiers leur caractère nocif et polluant. Le tableau 17 illustre bien quelques études faites sur des effets subléthaux provenant des effluents d'usines kraft, à partir de diverses espèces de poissons.

Malheureusement, ces effets subléthaux des usines de pâtes et papiers ne sont que rarement considérés dans les analyses d'impacts, tandis qu'avec la méthode du graphe de cohérence il est possible d'ouvrir la fenêtre sur la question.

#### 4.2.8.1 La toxicité des effluents de pâtes et papiers et les invertébrés

Les invertébrés sont aussi affectés par les eaux usées des pâtes et papiers. Parmi ceux-ci, les huîtres furent les plus étudiées surtout à cause de leur importance commerciale. Woelke (1960) s'intéressa particulièrement à l'impact des liqueurs usées sulfites sur le cycle de reproduction des huîtres Olympia sp. ainsi que sur les huîtres Ostrea aurida. Woelke (1960a) démontra en laboratoire que les liqueurs usées de sulfites peuvent interrompre le cycle de reproduction des huîtres "Ostrea lurida" à partir d'une concentration de 16 p.p.m. Il démontra aussi que pour des concentrations plus faibles (2,4,8, p.p.m.) de liqueurs de cuisson à base d'ammoniaque il pouvait y avoir influence néfaste sur le cycle de reproduction des

LC<sub>50</sub>: Concentration à laquelle 50% de la population soumise à cette dose meurt et ce, dans un laps de temps inférieur à 96 heures.

TABLEAU 17: Effets subléthaux des effluents d'usines de pâte kraft.

Espèces affectées	Fonctions et systèmes affectés	Effets des effluents kraft	Longueur et/ou poids	T °C	Seuil approximatif	Commentaires	Références
Truite arc-en-ciel	Respiratoire	Eternuements fréquents Augmentation du besoin en O <sub>2</sub>	8 à 10 pouces 207 à 312 gr	11° ± 1 10.5° ± .5	1.1% d'un effluent kraft normal 0.33 LC <sub>50</sub>	Possibilité d'adaptation	Walden et al. (1970) Davis (1973)
Saumons Coho	Circulatoire	Réduction du nombre des cellules blanches du sang	Juvéniles	11° ± 1	0.1 TL <sub>96</sub> <sub>m</sub>	Après 21 jours d'exposition	Mc Leag (1973)
Saumons Coho	Métaboliques	Augmentation de l'acide lactique Diminution de l'habileté à nager	Juvéniles Juvéniles	11° ± 1 13° ± 1	0.25 TL <sub>96</sub> 0.20 TL <sub>96</sub>	Après 200 jours d'exposition Après 200 jours d'exposition	Howard et Mc Leag (1972) Howard (1973)
Saumon Sockeye	Croissance	Baisse du taux de croissance	2.4 à 2.8 g.	15°	10 à 25% d'un effluent kraft normal	Exposition d'environ 8 semaines	Wabb et Brett (1972)
Saumon Chinook	Croissance	Baisse du taux de croissance	Juvéniles	7 à 13°	0.14 à 0.35 TL <sub>96</sub>	Effluent kraft non blanchi	Tokar et Owens (1968)
Saumon Coho	Comportement	Façon de se nourrir	4 à 10 g.	10 à 13°	0.1 à 0.2 LC <sub>50</sub>	Après 2 semaines d'exposition	Masson et Daves (1971)
Sokeye, Saumon du Pacifique	Comportement	Faculté de s'orienter dans les courants		8°	0.8 LC <sub>50</sub>	Effluent de blanchiment kraft	Servizi et al. (1966)
Saumons Chinook	Pathologie et morpho-	Les pupilles des yeux deviennent opaques Hémorragies internes Décoloration du foie	41.3 g	12°		Composite d'effluent	Holland et al. (1971)

huîtres Olympia sp.

Ces observations à propos des huîtres nous permettent de faire le point pour montrer l'importance que peuvent jouer les invertébrés dans l'évaluation de la qualité d'une rivière. Hynes (1958) fut l'un de ceux qui défendent la théorie voulant que les invertébrés soient de bons indicateurs de pollution aquatique.

Un des avantages des invertébrés, tout comme les plantes d'ailleurs, c'est qu'ils ne peuvent changer rapidement de place dans le milieu, et par conséquent, ils doivent subir tous les changements apportés aux conditions locales. Et c'est pour cette raison qu'ils peuvent devenir de bons indicateurs de la qualité de l'eau, dépendamment de la tolérance des espèces impliquées. La disparition subite d'une espèce sensible peut vouloir dire qu'il y a des modifications à la qualité du milieu. Beak (1965) s'est servi de cette méthode pour évaluer la qualité de certains cours d'eau récepteurs d'effluents de mise en pâte kraft. Il en arriva à la conclusion que pour la faune benthique qui vit sur les fonds des rivières dans les régions où on exploite des usines de pâtes et papiers, en Amérique du Nord, on peut dénombrer quinze (15) ou vingt (20) groupes différents que l'on retrouve au tableau 18.

Selon Beak, les premiers effets de la pollution se manifestent par la diminution du nombre d'espèces intolérantes; par exemple, le genre Hexagenia apparaît très sensible aux diminutions d'oxygène dissous, d'autres espèces se révèlent plus sensibles aux toxiques, comme les organismes du genre Sialis. La prochaine étape d'observation qui témoigne de la dégradation du milieu se manifeste par la complète disparition des espèces intolérantes. Il arrive que pour un milieu donné, la pollution soit devenue si importante

TABLEAU 18: Les principaux groupes benthiques pouvant servir d'indicateurs biologiques (Beak, 1965).

Espèces	Les prédateurs	Les herbivores	Décomposeurs
Intolérantes	<u>Sialis</u> sp. Trichoptère Odonate Plécoptère	Ephéméroptère Trichoptère	
Facultatives	Pélopiiné <u>Procladius</u> sp. <u>Anatopynia</u> sp. Hirudiné	Tendipédidé Pélopiiné	Amphipode Isopode Oligochète Pélécypode
Tolérantes	<u>Procladius</u> <u>Culiciformis</u> sp.		Tubificidé Oligochète

qu'on assiste à la disparition des derniers organismes facultatifs comme les Hirudinés et qu'en même temps on observe l'apparition des espèces tolérantes comme les tubifidés et les lumbriculidés. Il faut mentionner qu'il existe une autre composante au concept d'index biotique, soit les densités de population. Avant qu'une espèce disparaisse complètement, il est possible qu'on observe des modifications dans la densité de population, ce qui peut déjà être considéré comme un indicateur de pollution.

A la lueur de ces observations Beak suggère un index biotique (tableau 19) basé sur la faune des macro-invertébrés. Comme on le remarque l'index compte six (6) classes distinctes allant d'une eau limpide et pure jusqu'à une eau des plus polluée où on ne retrouve même plus de faune. Beak prend soin d'associer le potentiel étiologique susceptible d'être retrouvé dans chacune des classes. Cet index biotique est fondé sur l'observation des changements écologiques occasionnés par la modification du milieu, et il peut se révéler un outil fort intéressant en matière d'évaluation d'impact, surtout au niveau de la notation.

#### 4.2.9 Les sources polluantes provoquant le goût et l'odeur

Parmi les effets subléthaux engendrés par les effluents d'usines de pâtes et papiers, celui le plus remarqué par le profane est sans aucun doute l'odeur et le goût qui peuvent se transmettre à la chair des poissons et à l'eau. Cook et al. (1971) réalisèrent une étude intéressante concernant le goût et l'odeur que l'on retrouve chez la perche (Perca flavescens) qui vit non loin de l'usine Domtar à Cornwall. Ils établirent que les principaux produits provoquant ces conséquences désagréables étaient les mercaptans ainsi que toute la gamme des produits sulfurés. La majeure partie de ces composés sont produits par le lessiveur ou par les pertes associées à la

TABLEAU 19: Index biotique (Beak, 1965).

Etat de la pollution	Index biotique	Type de communauté de macro-invertébrés	Potentiel étiologique
Non polluée	6	Toutes les espèces peuvent être représentées: des plus sensibles jusqu'aux décomposeurs, par contre aucune espèce ne prédomine d'une façon marquée au point de vue nombre.	Toutes les espèces de poissons susceptibles d'habiter ce type de milieu peuvent s'y retrouver.
Légèrement polluée	5 à 4	La densité de population des espèces sensibles de prédateurs et d'herbivores décroît rapidement. Par ailleurs les espèces facultatives de prédateurs et d'herbivores et possiblement les décomposeurs sont appelés à s'accroître en nombre à mesure que l'index décroît.	Les espèces les plus sensibles de poissons sont appelées à décroître et même disparaître.
Modérément polluée	3	Toutes les espèces sensibles sont absentes, même certaines espèces facultatives de prédateurs comme les Hirudines peuvent être absentes. Les prédateurs de la famille des pélopiiné et les herbivores de la famille des tendipédidé sont présents à des densités modérées.	Seulement les poissons colérants peuvent s'y maintenir.
Modérément à fortement polluée	2	Si on est en présence d'une pollution toxique, les espèces sensibles et tolérantes réduites en nombre, si c'est une pollution organique, les quelques espèces insensibles aux faibles concentrations d'oxygène sont présentes en grand nombre.	Si on retrouve des poissons, il ne pourra s'agir que des espèces reconnues comme fortement tolérantes à la pollution.
Fortement polluée	1	On ne retrouve que les décomposeurs très tolérants et en grand nombre.	On ne retrouve que quelques poissons des plus tolérants.
Très fortement polluée et habituellement toxique	0	Aucun macro-invertébré n'est présent.	Aucun poisson.

fournaise de récupération. Il va de soi que le goût et l'odeur qui peuvent être occasionnés à l'eau par le biais des effluents de pâtes et papiers constituent un désavantage pour l'approvisionnement en eau potable.

#### 4.3 L'influence des usines de pâtes et papiers sur la qualité de la rivière St-François

Jusqu'à présent ce mémoire portait sur la philosophie de l'évaluation d'impact et sur le potentiel polluant des différents types de procédés. Il donnait aussi un aperçu des impacts pouvant être occasionnés à l'environnement. Idéalement, une telle étude devrait être appuyée d'une campagne d'échantillonnage en rivière, ce qui permettrait de mettre en lumière l'intensité des relations mises en cause. Malheureusement, on n'avait pas le temps et l'argent nécessaire pour mettre de l'avant une pareille étude pour les fins de notre recherche. Par contre, il existe tout près d'une dizaine d'études de qualité sur la rivière St-François qui peuvent pallier à la lacune d'une étude spécifique. On s'est inspiré en particulier d'un travail mis de l'avant par le centre de recherche Domtar (anonyme 1975) pour appuyer notre mémoire. Cette étude apparaît des plus intéressantes et porte sur cinq points majeurs. Elle s'étend sur une distance approximative de soixante-dix milles, allant de la rivière Eaton (1 mille en amont de la ville d'East-Angus) jusqu'à Drummondville. Les responsables de l'étude s'efforcèrent d'échantillonner en amont et en aval de chaque source polluante majeure (tableau 20 et figure 18).

La première partie de l'étude porte sur l'analyse de la faune benthique et elle est réalisée à l'aide de substrats artificiels (technique reconnue par E.P.A.).

La seconde partie de l'étude vise à évaluer le niveau d'eutrophisation de la rivière en échantillonnant et identifiant les différentes espèces

TABLEAU 20: Localisation des stations d'échantillonnage.

No de la station	Description de la station
C <sub>1</sub> Station contrôle	Située approximativement à 600 pieds à l'embouchure de la rivière Eaton
C <sub>2</sub> Station contrôle	Localisée à 0.5 mille en amont du barrage d'East-Angus
C <sub>3</sub> Station contrôle	Située à 500 pieds en amont du barrage d'East-Angus
C <sub>4</sub> Station contrôle	Située à 100 pieds en aval du barrage d'East-Angus
1	Située à 1 000 pieds en aval du pont de chemin de fer et à 25 pieds au large de la rive Nord
2	Directement opposée à la station 1 et localisée à 10 pieds au large de la rive Sud
3	Située à environ 1 $\frac{3}{4}$ mille en aval d'East Angus et localisée à 6 ou 10 pieds au large de la rive Nord
4	Située à $\frac{1}{2}$ mille en amont du pont d'Ascot Corners et localisée à environ 12 pieds au large de la rive Sud
5	Située à la confluence de la rivière Massawipi et de la rivière St-François
6	Située en aval de Sherbrooke, à environ $\frac{3}{4}$ mille en aval de la confluence de la rivière Magog et de la St-François
7	Située au pont de Bromptonville et en amont de l'usine Kruger
8	Située à environ 1 000 pieds en aval du point de rejet de l'usine Kruger
9	Directement opposée à la station 8, sur la rive Sud
10	Située à mi-chemin entre Bromptonville et Windsor
11	Immédiatement en aval du barrage de Windsor
12	Située près de la rive Sud et directement opposée à la station 11
13	Située sur la rive opposée au moulin de la Cie Domtar à environ 500 pieds en aval du pont
14	Directement opposée à la station 13 tout près de l'usine Domtar
15	Située à 2 milles en aval de Windsor
16	Située en amont du pont de Richmond
17	Située à $\frac{1}{2}$ mille en amont de Drummondville tout près de l'aéroport

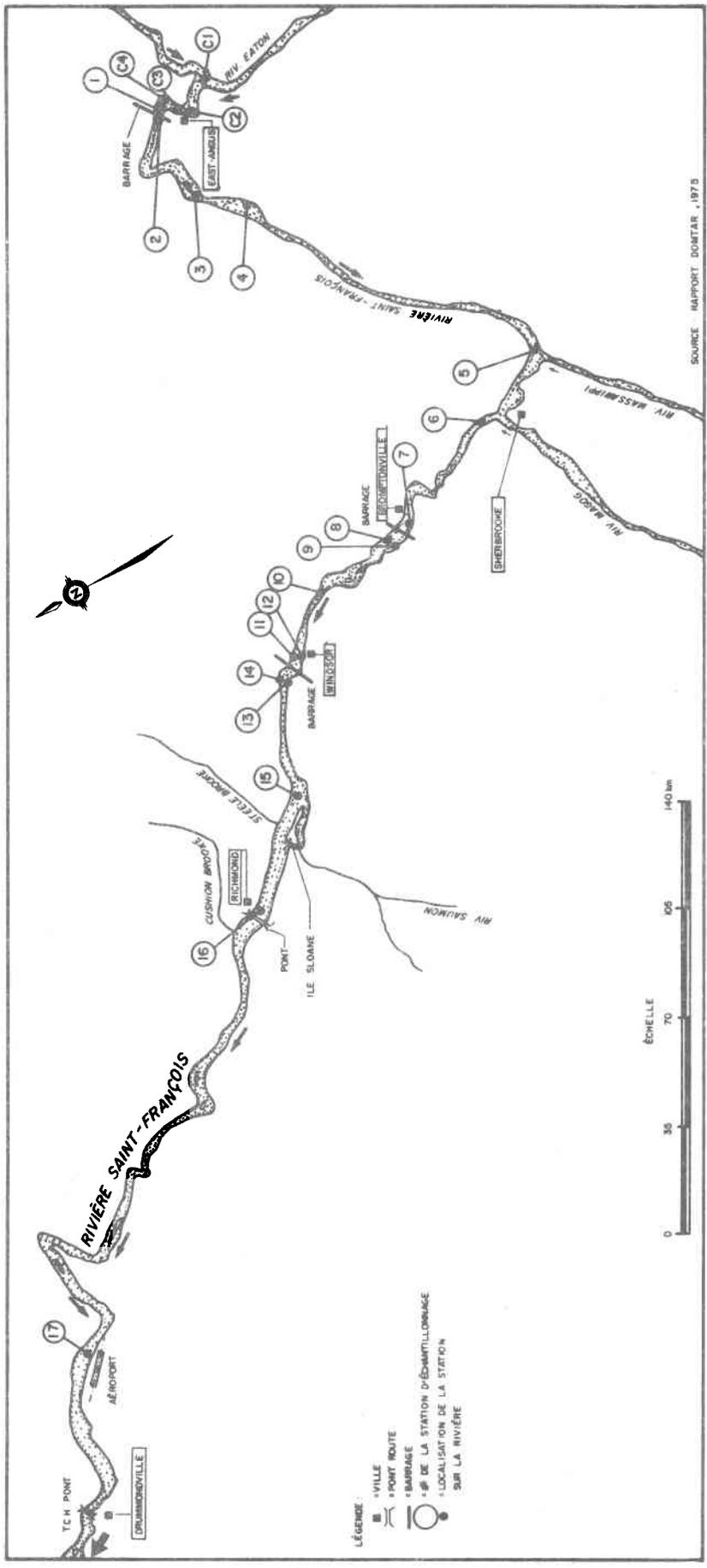


Figure 18 - Localisation des stations d'échantillonnage sur la Saint-François, été 1974.

d'algues.

La troisième partie de l'étude porte sur l'échantillonnage des populations bactériennes, en particulier sur les bactéries anaérobiques, les coliformes totaux et les bactéries réductrices de sulfate.

L'étude porte aussi sur l'échantillonnage des paramètres physico-chimiques classiques comme l'oxygène dissous, la température, la D.B.O.<sub>5</sub>, la D.C.O., les solides en suspension, la conductivité et le phosphore.

Finalement elle compte une expérience de toxicité sur des truites arc-en-ciel (Salmo gairdneri), à partir des effluents des trois pulperies du bassin St-François. On y trouve aussi des bioessais à partir de l'eau échantillonnée aux abords des sorties des effluents industriels.

A partir d'une analyse de cette étude on tentera d'appuyer les relations mises en cause aux chapitres 2, 3 et 4 de notre mémoire.

#### 4.3.1 La pollution et les macro-invertébrés de la St-François

L'échantillonnage benthique s'est avéré fort intéressant et révéla quelques judicieuses observations à propos des principales sources polluantes de la St-François. A partir du principe qu'un changement dans la diversité benthique peut devenir le reflet d'une altération de la qualité de l'eau, on peut déceler quelques impacts sérieux sur l'écosystème aquatique. Afin d'avoir un meilleur aperçu de la comparaison des populations entre les stations, les spécialistes du centre de recherche Domtar ont cru bon fournir la moyenne ainsi que l'écart type pour chaque population de chaque espèce. Le tableau 21 illustre les résultats obtenus. On a regroupé les organismes en trois grands groupes dépendant de leur seuil de tolérance à la pollution. Par exemple

TABLEAU 21: Les macroinvertébrés ayant colonisé les substrats artificiels placés dans la rivière St-François. Été 1974.

	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	1	2	3	4	5
Macroinvertébrés								
<u>Groupe 1</u>								
Oligochètes	6.2 4.3	3.8 2.7	7.2 5.6	7.4 6.2	4.4 3.7	10.8 10.2	3.2 1.6	8.6 4.0
<u>Groupe 2</u>								
Chironomidés	14.0 4.4	18.4 8.6	26.0 5.6	79.0 21.2	21.2 11.4	53.2 18.2	22.8 10.0	89.0 53.3
Sphaeriidés				0.2 0.4	0.2 0.4	0.4 0.6	3.4 2.5	2.4 2.6
Gastéropodes				0.8 1.0	6.2 5.9	3.2 7.1	9.2 6.2	0.8 1.3
Amphipodes	0.8 0.8	0.2 0.4	0.2 0.4					
Isopodes								
Diptères	2.0 1.5	1.2 1.0	1.0 0.7	5.6 2.1	2.2 1.4	1.4 1.0	2.8 2.1	3.2 2.3
Huridinés				0.2 0.4		1.2 1.3	0.4 0.5	
Copépodes								
<u>Groupe 3</u>								
Tricoptère	6.0 1.4	23.4 5.3	21.0 12.3	9.0 12.5	6.6 4.7	0.8 0.4	7.8 3.5	2.8 1.7
Ephéméroptère		2.4 2.0	2.6 2.9					
Odonates	0.2 0.4						0.2 0.4	0.2 0.4
Plécoptères		0.8 1.7	3.0 1.9		0.9 0.4		0.6 0.8	0.6 0.6
Coléoptères			0.2 0.4					

Source: anonyme 1975.

TABLEAU 21: Les macroinvertébrés ayant colonisé les substrats artificiels placés dans la rivière St-François. Eté 1974.  
(SUIITE)

Macroinvertébrés	6	7	8	9	10	11	12	13								
<u>Groupe 1</u>	16.7	8.1	5.6	2.6	31.5	9.7	11.4	3.5	9.0	3.0	20.0	9.3	20.4	8.0	29.5	38.8
Oligochètes																
<u>Groupe 2</u>	42.0	7.7	32.4	5.4	10.0	7.0	18.6	13.6	46.4	5.8	38.6	6.1	48.6	18.0	37.2	18.6
Chironomidés							0.8	0.8	0.2	0.4	1.4	1.1			3.5	1.2
Sphaeriidés					0.2	0.5	1.2	1.3			0.2	0.4			0.2	0.5
Gastéropodes							0.4	0.5					3.4	2.0	0.2	0.5
Amphipodes																
Isopodes	0.2	0.5	1.0	0.7	1.0	0.0	0.6	0.4	1.6	1.1	1.8	0.8	1.0	1.0	1.7	2.6
Diptères					0.5	0.5	0.2	0.4								
Muridinés					0.2	0.5							0.2	0.4		
Copépodes																
<u>Groupe 3</u>																
Tricoptère																
Ephéméroptère			1.0	0.7					44.2	10.2	5.8	3.6	11.0	4.3	9.3	5.4
Odonates									0.2	0.4			0.2	0.4	0.5	1.0
Pléoptères											0.4	0.8			0.2	0.5
Coléoptères	0.7	0.9					0.2	0.4					0.2	0.4		

Source: anonyme 1975.

TABLEAU 21: Les macroinvertébrés ayant colonisé les substrats artificiels placés dans la rivière St-François. Eté 1974. (SUITE)

	14	15	16	17
<b>Macroinvertébrés</b>				
<u>Groupe 1</u>				
Oligochètes		4.6 2.7	25.4 14.0	6.5 6.
<u>Groupe 2</u>				
Chironomidés	1.5 2.1	36.0 10.2	15.8 8.7	31.1 15.4
Sphaeriidés		5.4 3.5	8.0 0.3	0.1 0.4
Gastéropodes		1.4 2.0		0.1 0.4
Amphipodes			0.2 0.4	0.1 0.4
Isopodes		2.6 1.6		
Diptères		0.2 0.4	0.4 0.5	1.6 1.2
Huridinés				
Copépodes				
<u>Groupe 3</u>				
Tricoptère		9.4 6.0	1.4 1.1	15.1 4.6
Ephéméroptère				0.3 0.5
Odonates				
Plécoptères			0.4 0.5	
Coléoptères				

Source: Anonyme 1975.

dans le groupe "1", on retrouve les organismes qui sont reconnus comme les plus tolérants à la pollution. Dans le groupe "2" on reconnaît un grand nombre d'organismes qui sont reconnus comme pouvant s'accommoder d'un milieu modérément pollué. Pour ce qui est du troisième groupe, il renferme les espèces très sensibles à toutes les formes de pollution.

Une première observation du tableau 21 nous révèle que toutes les stations d'échantillonnage, à l'exception des stations 8 et 14, comptaient des organismes associés à tous les niveaux de tolérance à la pollution. Il apparaît que l'absence d'organismes sensibles à la station 8 serait directement attribuable aux rejets de la Kruger. La même situation se retrouve à la station 14 et elle apparaît même plus sérieuse, du fait que l'on ne retrouve que deux espèces benthiques. A cet endroit il apparaît évident que les émissaires de la Domtar à Windsor sont responsables en très grande partie de la situation. Par ailleurs, il faut ajouter que l'effet néfaste des effluents des pâtes et papiers est très localisé et qu'à une courte distance de ces points d'échantillonnage critiques, on retrouve les communautés benthiques normales.

Il ne faut pas croire que toute la pollution de la St-François devrait être associée aux usines de pâtes et papiers. Prenons le cas des stations 6 et 7, où l'on retrouve très peu d'organismes sensibles à la pollution: elles témoignent de l'impact des effluents municipaux de Sherbrooke, Bromtonville et Lennoxville.

#### 4.3.2 L'analyse bactériologique de la St-François

La présence des bactéries en rivière n'est pas systématiquement attribuable à l'activité industrielle papetière. Si on regarde attentivement le tableau 22 on remarque que le taux le plus élevé de bactéries a été enre-

TABLEAU 22: Nombre de bactéries par 100 ml d'eau de rivière à différentes stations d'échantillonnage sur la rivière St-François

Station	Bactéries total		Coliformes total		Coliformes fécaux		Réductrices de sulfate
	Août	Septembre	Août	Septembre	Août	Septembre	Août
Control 1	$1.0 \times 10^5$	$2.5 \times 10^4$	$2.5 \times 10^3$	$4.0 \times 10^2$	$1.5 \times 10^2$	nil	$0.9 \times 10^2$
Control 2	-	$2.0 \times 10^4$	-	$6.1 \times 10^3$	-	$0.5 \times 10^2$	-
Control 3	$2.5 \times 10^5$	$3.5 \times 10^4$	$2.4 \times 10^3$	$7.5 \times 10^3$	$2.0 \times 10^2$	$2.5 \times 10^2$	$7.5 \times 10^2$
Station 1	$1.7 \times 10^5$	$2.9 \times 10^5$	$2.7 \times 10^3$	$3.3 \times 10^4$	$2.4 \times 10^3$	$8.0 \times 10^2$	$1.5 \times 10^3$
" 2	$1.3 \times 10^5$	$1.4 \times 10^5$	$2.2 \times 10^3$	$2.7 \times 10^4$	$1.7 \times 10^3$	$3.5 \times 10^2$	$4.3 \times 10^3$
" 3	$2.1 \times 10^5$	$9.0 \times 10^5$	$2.7 \times 10^3$	$8.0 \times 10^4$	$1.1 \times 10^3$	$2.3 \times 10^3$	$9.3 \times 10^2$
" 4	$1.3 \times 10^5$	$5.0 \times 10^5$	$2.0 \times 10^3$	$3.9 \times 10^4$	$1.9 \times 10^3$	$1.5 \times 10^3$	$4.3 \times 10^2$
" 5	$1.1 \times 10^5$	$2.3 \times 10^5$	$4.0 \times 10^3$	$8.5 \times 10^3$	$3.8 \times 10^3$	$1.0 \times 10^3$	$4.3 \times 10^3$
" 6	$8.0 \times 10^5$	$2.5 \times 10^6$	$5.4 \times 10^4$	$7.0 \times 10^4$	$1.4 \times 10^4$	$2.2 \times 10^4$	$9.3 \times 10^3$
" 7	$3.0 \times 10^5$	$9.2 \times 10^5$	$5.6 \times 10^4$	$7.6 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	$1.5 \times 10^4$	$2.4 \times 10^2$
" 8	$6.7 \times 10^5$	$2.5 \times 10^5$	$5.6 \times 10^4$	$9.1 \times 10^4$	$7.8 \times 10^3$	$4.4 \times 10^4$	$4.3 \times 10^2$
" 9	$3.4 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6$	$5.0 \times 10^4$	$4.3 \times 10^4$	$7.3 \times 10^3$	$1.7 \times 10^4$	$4.3 \times 10^3$
" 10	$1.8 \times 10^5$	$1.0 \times 10^6$	$1.9 \times 10^4$	$6.4 \times 10^4$	$2.2 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4$	$4.3 \times 10^3$
" 11	$2.0 \times 10^5$	$2.7 \times 10^5$	$2.4 \times 10^4$	$4.9 \times 10^4$	$1.5 \times 10^3$	$1.3 \times 10^4$	$9.3 \times 10^2$
" 12	$2.3 \times 10^5$	$7.0 \times 10^5$	$2.1 \times 10^4$	$5.9 \times 10^4$	$9.0 \times 10^2$	$1.1 \times 10^4$	$4.3 \times 10^3$
" 13		$9.6 \times 10^5$		$6.2 \times 10^4$	$3.0 \times 10^2$	$1.2 \times 10^4$	$4.3 \times 10^2$
" 14	$2.2 \times 10^5$	$1.1 \times 10^6$	$1.0 \times 10^4$	$4.1 \times 10^4$	$1.1 \times 10^3$	$1.6 \times 10^4$	$9.3 \times 10^2$
" 15	$1.7 \times 10^5$	$6.7 \times 10^5$	$5.6 \times 10^3$	$3.8 \times 10^4$	$3.0 \times 10^2$	$7.0 \times 10^2$	-
" 16	$4.0 \times 10^5$	$7.1 \times 10^5$	$1.9 \times 10^3$	$3.2 \times 10^4$	$4.0 \times 10^2$	$1.3 \times 10^3$	-
" 17	$8.0 \times 10^4$	$3.5 \times 10^4$	$3.0 \times 10^2$	nil	nil	nil	$4.3 \times 10^2$

gistré à la station 6 située immédiatement en aval de Sherbrooke. Plus particulièrement, en ce qui concerne les coliformes fécaux, on remarque l'augmentation sensible de leur nombre en aval des principaux centres (East-Angus, Sherbrooke et Windsor). Pour ce qui est des bactéries réductrices de sulfate, elles sont moins abondantes qu'on aurait pu croire. On attribue cette faible présence à la quantité insuffisante de sulfate remise dans le milieu ainsi qu'au trop fort taux d'oxygène dissous en présence dans le milieu. Ce qui a pour effet d'inhiber la croissance de ces bactéries anaérobiques.

#### 4.3.3 L'analyse des algues dans la St-François

L'eutrophisation n'apparaît pas comme un problème majeur sur la rivière St-François et toute la problématique des fleurs d'eau semble écartée pour le moment. Il faut tout de même souligner que l'absence d'algues peut être attribuée aux substances subtoxiques pouvant se trouver dans l'eau. On est quand même en mesure de formuler quelques observations majeures concernant le comportement des algues sur la rivière. Par exemple la figure 19 nous révèle que les espèces d'algues typiques d'un milieu oligotrophe sont diminuées de beaucoup entre l'amont et l'aval de East-Angus. Cette diminution coïncide avec une augmentation sensible des espèces eutrophes. Ces changements enregistrés chez les diverses espèces d'algues coïncident avec une faible diminution de l'indice de diversité. L'autre changement majeur à être observé prend place en aval de Sherbrooke et de Lennoxville. Ce changement se caractérise par une surabondance des espèces d'algues spécifiques aux milieux oligotrophes et eutrophes. Cette augmentation de la productivité du milieu serait attribuable en grande partie à l'apport des effluents urbains en amont. Finalement, pour confirmer le non-sérieux du problème des algues, on peut remarquer qu'à la station la plus en aval, les populations d'algues ainsi que l'indice de di-

K&E 40 X 110 TO THE CENTIMETER 48 1510  
KLUFFEL & EBBEN CO. MADE IN U.S.A.

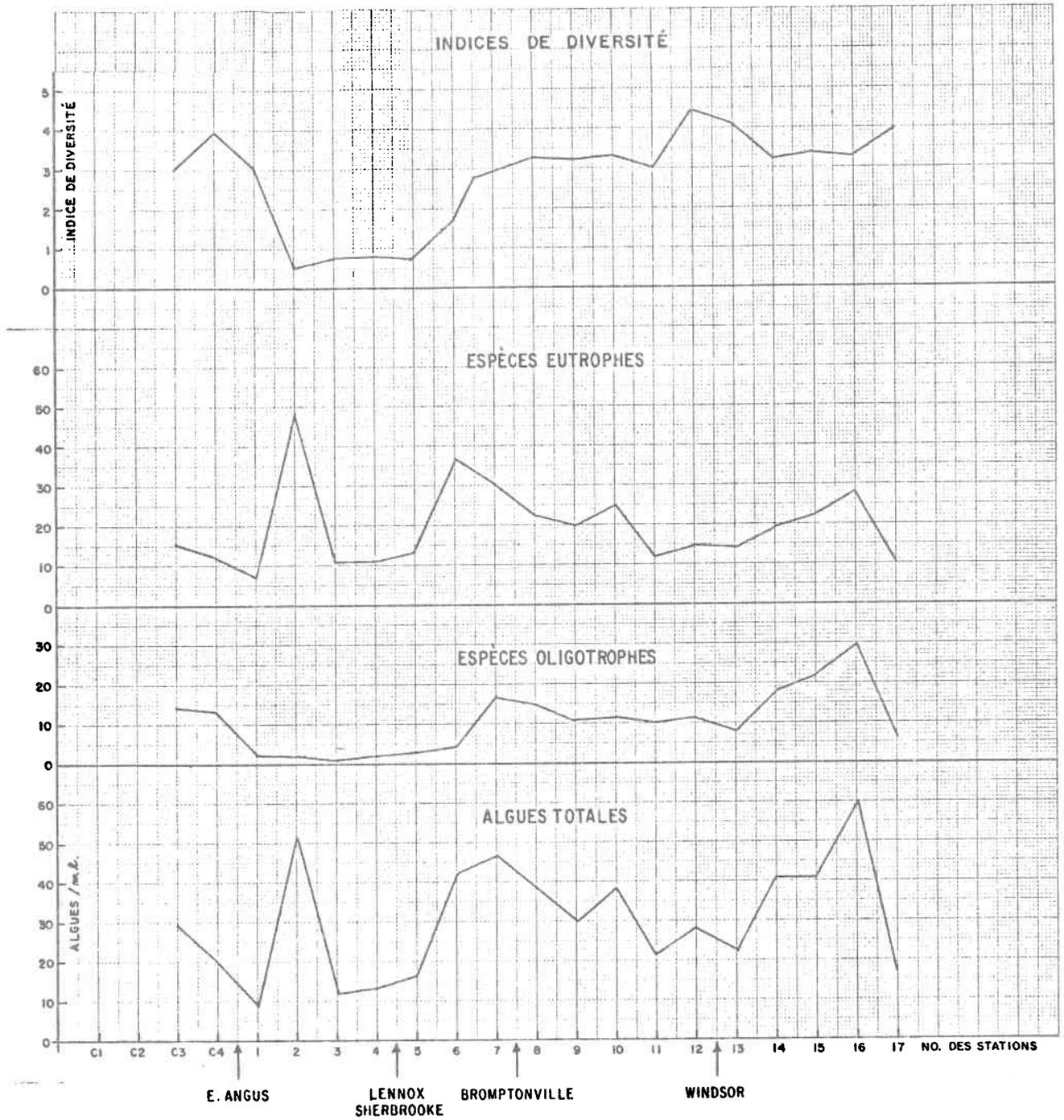


FIGURE 19  
CARACTÉRISATION ET CONCENTRATION DES ALGUES  
DANS LA RIVIÈRE SAINT - FRANÇOIS ( ÉTÉ 1974 )

SOURCE: RAPPORT DOMTAR 1975

versité sont à peu près de même nature que ceux observés aux stations contrôles.

#### 4.3.4 Les paramètres physico-chimiques de la St-François

Le tableau 23 regroupe l'ensemble des résultats observés par l'équipe Domtar au cours de l'été 1974. On verra un peu plus en détail quelques-uns de ces paramètres et on tentera de voir l'impact des usines de pâtes et papiers de la St-François sur le comportement de ces divers paramètres.

##### 4.3.4.1 L'oxygène dissous et la température

L'oxygène dissous et la température n'apparaissent pas comme des problèmes majeurs sur la rivière St-François. En ce qui concerne la température, on ne dénote aucun apport thermique d'importance, et les seuls changements sont associés aux variations de température saisonnière.

Pour ce qui concerne l'oxygène dissous, on devrait être en mesure d'observer des changements majeurs tout au long de la St-François, compte tenu de la très grande quantité de matières organiques rejetés à la rivière tant par les municipalités que par les industries. Et pourtant ce n'est pas le cas. On ne retrouve aucun taux de saturation alarmant le long de la rivière. Cette situation s'explique en grande partie par le potentiel autoépurateur de la rivière (potentiel résultant des nombreux rapides et barrages le long du parcours). La figure 20 nous révèle quand même quelques variations substantielles en aval des principaux utilisateurs, en particulier les pâtes et papiers. Il est évident que ces diminutions en oxygène dissous pourraient devenir critiques pour l'environnement sur des bassins où il n'y a pas un potentiel autoépuration aussi important.

TABLEAU 23: Résultats d'analyses chimiques sur la rivière St-François

Station	O.D. mg/l.		temp. °C (1)	DBO <sub>5</sub> mg/l. (2)	D.C.O. mg/l. (1)	MES mg/l (3)	Conductivité mhos/cm (1)	PO <sub>4</sub> total (1)
	(1)	(2)						
Contrôle 1	NS (5)	NS (5)	21	NS	36.5	NS	120	< .02
Contrôle 2	9.2 (99)	7.6 (87)	19	2.0	NS	0	60	NS
Contrôle 3	10.3 (111)	S	19	NS	34.7	NS	60	< .02
Contrôle 4	9.5 (103)	NS	19.5	NS	36.3	NS	70	< .02
1	9.4 (102)	6.9 (79)	20	4.4	44.5	1.8	70	.19
2	9.2 (100)	7.6 (87)	20	5.2	39.2	0.9	72	< .02
3	8.9 (97)	NS	20.2	NS	45.5	NS	70	< .02
4	8.9 (97)	6.7 (77)	20	3.8	52.0	0.3	70	< .03
5	9.7 (108)	6.5 (75)	20	2.1	52.8	0.1	80	< .02
6	9.0 (100)	6.6 (76)	21	5.4	42.6	NS	95	.20
7	8.8 (97)	6.9 (79)	20.5	3.4	35.9	0.6	95	.04
8	10.6 (118)	7.4 (85)	21	7.2	55.7	2.4	95	.04
9	9.1 (99)	NS	20	NS	39.4	NS	95	.03
10	9.8 (107)	NS	20	NS	42.2	NS	95	< .02
11	9.7 (108)	NS	21	NS	36.5	NS	95	< .02
12	9.0 (98)	7.0 (80)	20	2.4	25.0	.004	95	.03
13	8.5 (96)	7.7 (89)	21.5	2.9	26.8	NS	100	< .02
14	8.7 (99)	6.1 (70)	22	> 6.1	63.3	8.7	140	.04
15	9.8 (113)	NS	23	NS	26.5	NS	110	.03
16	7.2 (83)	5.7 (66)	23	3.6	34.7	0.4	115	< .02
17	6.7 (77)	6.0 (69)	22.8	2.0	32.0	0.03	110	< .02

(1) Échantillonné la semaine du 5 août 1974

(2) Échantillonné la semaine du 14 août 1974

(3) Échantillonné la semaine du 16 septembre 1974

(4) Non échantillonné NS

(5) % de saturation

Etude de la rivière St-François, Domtar 1975.

**KE** 10 X 10 TO THE CENTIMETER 45 1510  
 MADE IN U. S. A.  
 KEUFFEL & ESSER CO.

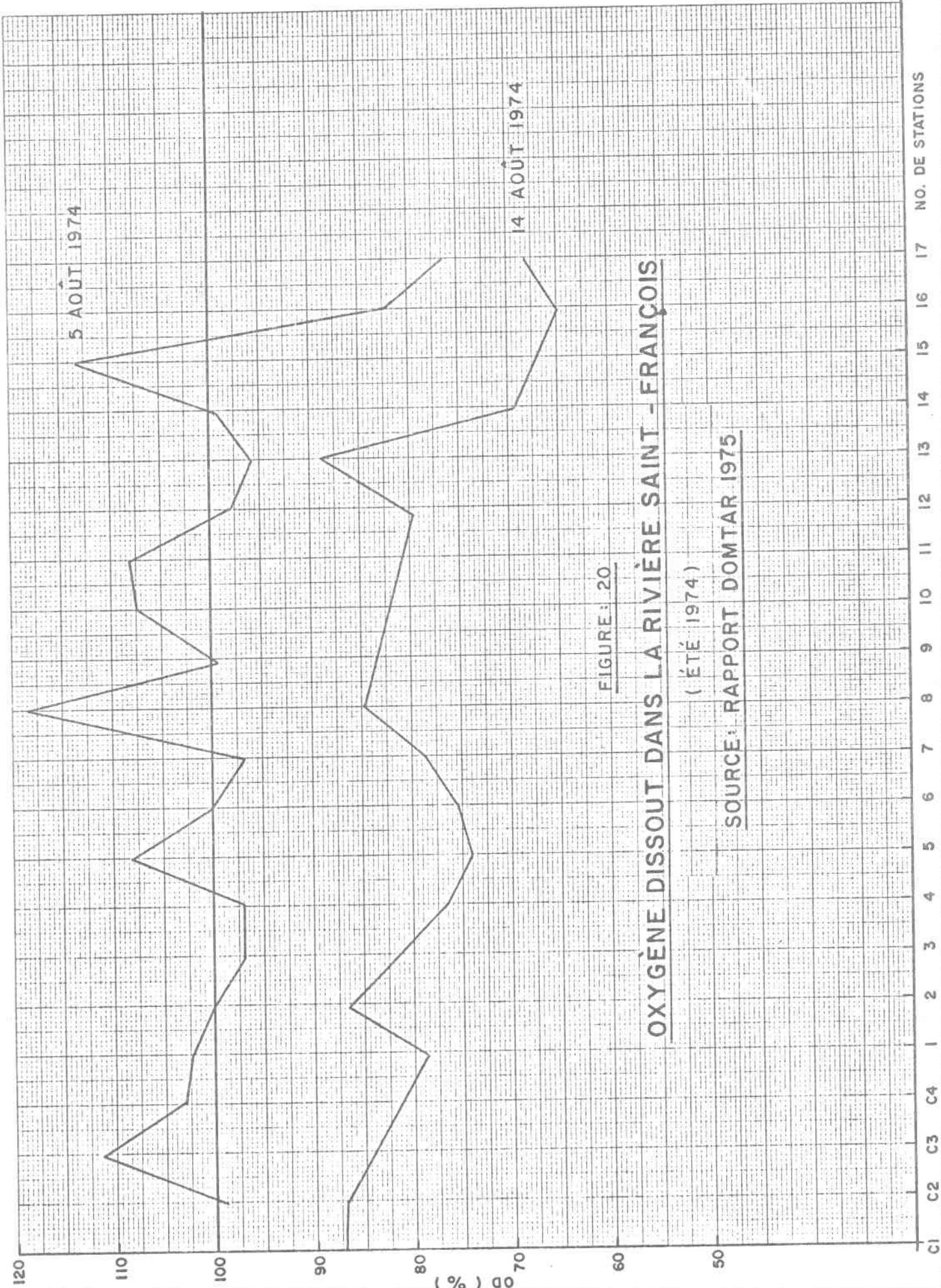


FIGURE: 20

OXYGÈNE DISSOUT DANS LA RIVIÈRE SAINT - FRANÇOIS

( ÉTÉ 1974 )

SOURCE: RAPPORT DOMTAR 1975

C1 C2 C3 C4 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 NO. DE STATIONS

#### 4.3.4.2 La demande biochimique en oxygène

La figure 21 met bien en évidence les principales sources polluantes influençant la D.B.O. On remarque en particulier qu'en aval des principales municipalités (East-Angus, Sherbrooke et Lennoxville) ainsi que des moulins de pâtes et papiers (Kruger et Domtar à Windsor) il y a une augmentation sensible de la D.B.O.<sub>5</sub>. Les points critiques apparaissent en aval de Bromptonville et Windsor où la D.B.O.<sub>5</sub> atteint des concentrations dépassant 6 mg/l., ce qui correspond à des conditions typiques d'une mauvaise qualité de l'eau. Il faut quand même ajouter que dans chacun des cas de pollution majeure, la concentration de D.B.O.<sub>5</sub> revient à la normale à quelques milles en aval des points critiques, phénomène associé au potentiel d'autoépuration.

Le potentiel autoépurateur peut assurer la quantité d'oxygène requise pour permettre la survie de toutes les formes d'écosystèmes aquatiques.

#### 4.3.4.3 La demande chimique en oxygène

Pour la St-François, la demande chimique en oxygène suit sensiblement la même allure que la D.B.O. (figure 22). Pour l'été 1974, la D.C.O. commence à augmenter à partir d'East-Angus et continue le même processus jusqu'en aval de Lennoxville. A ce point, la D.C.O. commence à diminuer assez rapidement pour reprendre de plus belle après l'effluent de la Kruger, pour fluctuer à nouveau en amont de Windsor. A cet endroit la D.C.O. est inférieure à ce qu'elle était en amont d'East-Angus, mais le pire reste à venir, et en aval du moulin de la Domtar à Windsor, la D.C.O. atteint son point culminant pour la rivière soit 65.3 mg/l. Heureusement cette situation n'est que passagère puisque deux milles en aval, la D.C.O. est redevenue ce qu'elle était en amont de Windsor et que dans la région de Richmond et Drummondville elle est redevenue ce qu'elle était en amont d'East-Angus.



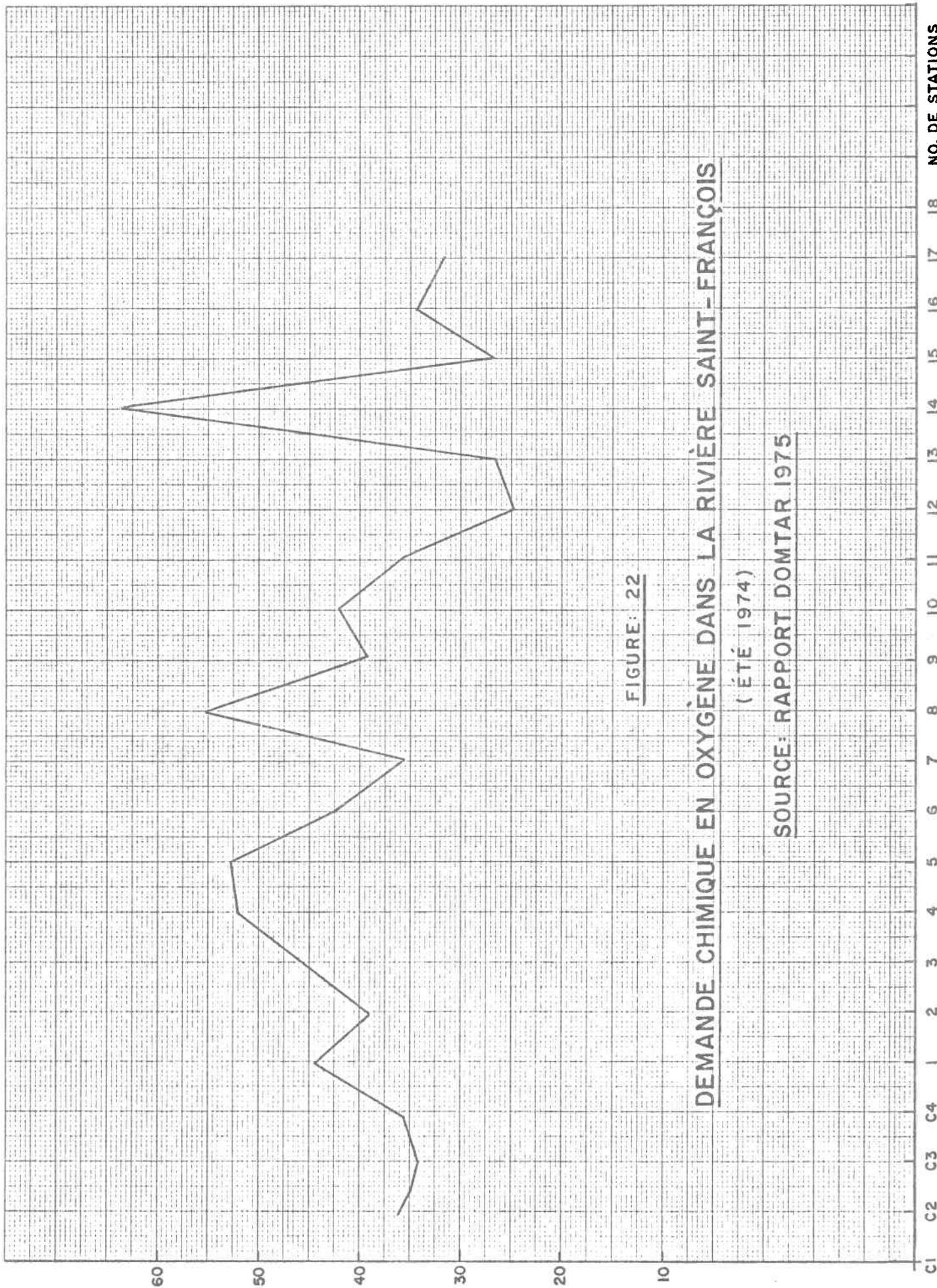


FIGURE: 22

DEMANDE CHIMIQUE EN OXYGÈNE DANS LA RIVIÈRE SAINT-FRANÇOIS

(ÉTÉ 1974)

SOURCE: RAPPORT DOMTAR 1975

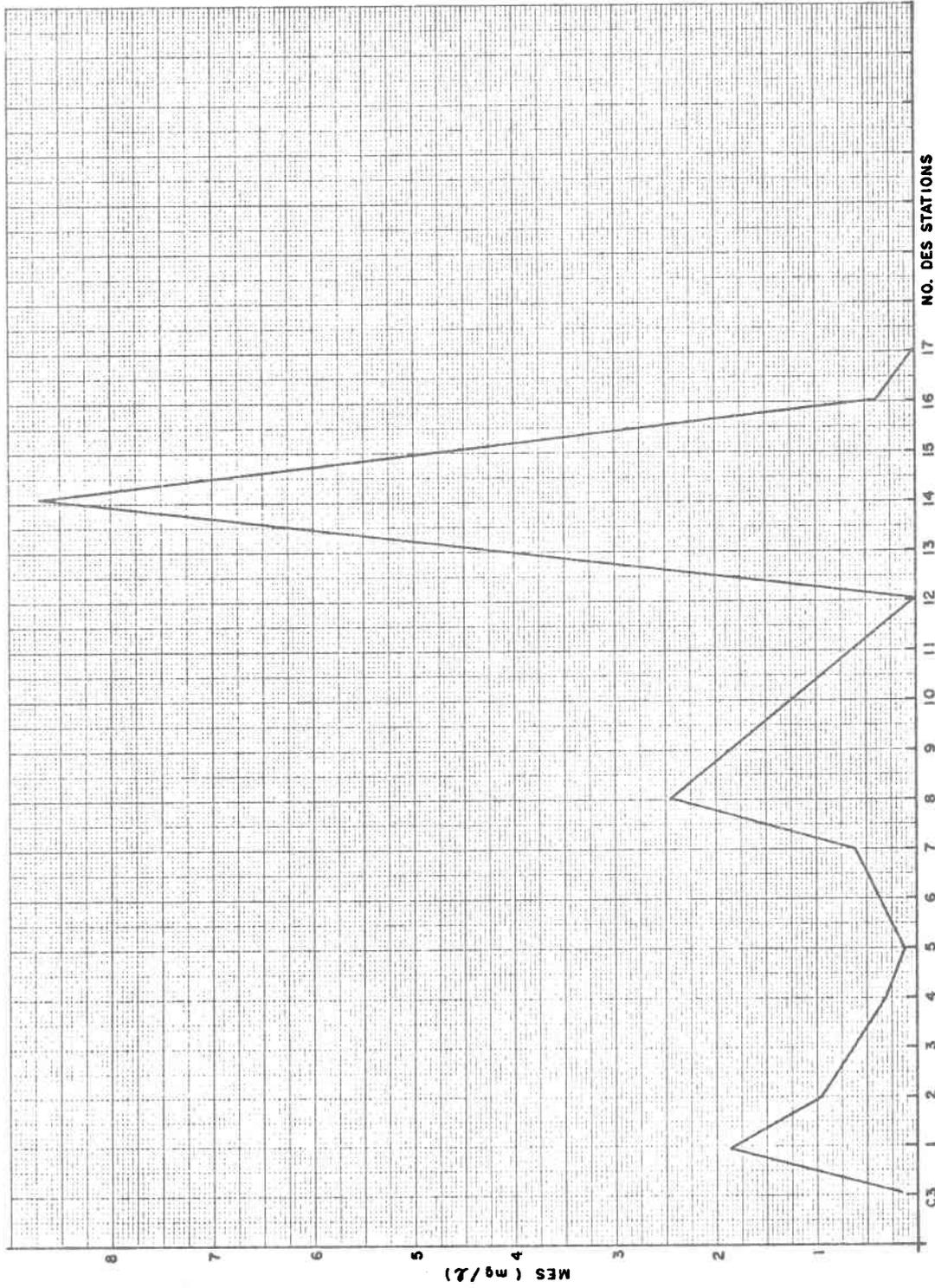


FIGURE 23

MATIÈRE EN SUSPENSION DANS LA RIVIÈRE SAINT FRANÇOIS

( ÉTÉ 1974 )

SOURCE: RAPPORT DOMTAR 1975

#### 4.3.4.4 Les solides en suspension dans la St-François

Le comportement des solides en suspension est assez particulier comme nous le révèle la figure 23. En amont d'East-Angus la quantité de matières en suspension était si négligeable qu'on n'est pas arrivé à la mesurer. Par contre, immédiatement en aval de la municipalité, la concentration de M.E.S. atteint 1.8 mg/l. pour redescendre graduellement jusqu'à 0.1 mg/l. en amont de Lennoxville. Par ailleurs, on observe une remontée de la concentration en aval de Lennoxville et Sherbrooke qui s'amplifie jusqu'en aval de la Kruger à Bromptonville. Après cette pointe, la concentration diminue graduellement pour atteindre un niveau équivalent à celui observé aux stations contrôles. Mais le tout reprend de plus belle, pour atteindre le maximum de la concentration en bas de la Domtar à Windsor, soit 8.7 mg/l. et redescendre à nouveau tout aussi rapidement pour atteindre à Richmond une concentration de 0.4 mg/l. et du même ordre de grandeur au niveau de l'aéroport à Drummondville.

Si on observe attentivement le comportement de la M.E.S., on remarque que les grands responsables de l'apport d'une si grande quantité de matière en suspension dans la rivière seraient les pulperies et les villes qui s'y rattachent. Par contre, l'impact réel des villes de Sherbrooke et Lennoxville serait sous évalué dans l'étude en question, étant donné que l'échantillonnage ne s'est pas fait immédiatement en aval de Sherbrooke. Un examen microscopique de la matière en suspension révèle que dans tous les cas, à l'exception de la station 17, la M.E.S. se compose de débris issus des usines de pâtes et papiers (éclisses de bois, copeaux, écorces, pulpe et fibres). Ajoutez à cela la matière organique naturelle en décomposition, le tout forme un milieu de croissance idéal pour les bactéries "Sphaerotilus" qui ne sont

pas nécessairement bénéfiques à l'écosystème aquatique.

#### 4.3.5 Le potentiel toxique de la St-François

Pour évaluer le potentiel toxique de la rivière St-François ainsi que des usines de pâtes et papiers situées le long de son parcours, on effectua quelques bioessais sur des échantillons prélevés dans divers effluents des industries, ainsi qu'aux stations situées immédiatement en aval des usines. Pour les bioessais, on s'est servi de truites arc-en-ciel (Salmo gairdneri), comme le fait Environnement Canada dans sa norme sur les toxiques.

La première observation qu'on peut formuler suite à cet aspect de l'étude confirme la non-toxicité de la rivière St-François. En effet, tous les points d'échantillonnage pris sur la St-François se sont avérés non-toxiques pour la truite arc-en-ciel qui a survécu avec succès au test  $LC_{50}$  - 96 heures. Par contre, tous les échantillons pris dans les effluents se sont avérés toxiques, à l'exception de celui provenant de la salle d'écorçage de l'usine Domtar à Windsor. En ce qui concerne ce cas particulier, les responsables de l'étude demeurent sceptiques et croient qu'il y aurait lieu à de plus amples vérifications. Cela veut dire qu'aucune usine ne respecte la norme fédérale de toxicité à partir des bioessais dans ses effluents.

## Chapitre 5

## CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

1. A l'aube de la génération de l'an "2000", tous prennent conscience des menaces qui planent sur notre Supra-système biosphérique. La décennie à venir va être déterminante dans les choix que nos dirigeants vont devoir prendre face aux relations homme-milieu.
2. L'importance d'évaluer les implications de chacune des décisions prises en matière de gestion du territoire et des ressources est prioritaire. Jusqu'à maintenant l'évaluation d'impact ne se faisait qu'au niveau d'un projet comme tel. Ce travail propose une évaluation à tous les niveaux de gestion.
3. Il est grandement temps que des valeurs autres que les valeurs économiques motivent nos actions au niveau du territoire. C'est pourquoi que ce travail propose de tenir compte des impacts techniques économiques et sociaux lors d'une décision.
4. Tant et aussi longtemps qu'on refusera de croire qu'il est possible de tenir compte de "l'immesurable" en matière environnementale, l'évaluation d'impact restera utopique. Le secret de l'évaluation d'impact, ce n'est pas d'arriver à une mesure précise d'une action ou d'une autre, mais de classer une action par rapport à une autre, et ceci constitue le pivot de toute la théorie de l'évaluation d'impact: passer du système cardinal au système ordinal.

5. Pour arriver à faire objectivement de l'évaluation d'impact, il faut se doter d'un cadre formel: où, au fur et à mesure, les spécialistes auront à instaurer une plus grande rigueur et collusion en matière d'évaluation d'impact. Ici nous ouvrons une fenêtre sur une avenue à explorer. Ce mémoire souligne les quelques concepts (stabilité, irréversibilité, unicité) qui amorceront le processus, mais il faut connaître les principes et les lois qui régissent chaque système pour évaluer les impacts qui peuvent leur être causés.
6. Ce mémoire propose une méthodologie d'évaluation d'impact dont l'articulation principale se trouve à être le graphe de cohérence. Cette méthode compte beaucoup d'avantages parmi lesquels l'aspect visuel, la polyvalence et la possibilité de pondération en font une méthode susceptible d'améliorer les procédures déjà existantes.
7. Les usines de pâtes et papiers, fortes de leur importance économique, de leur relation étroite avec les ressources naturelles ainsi que de leur potentiel polluant représentaient une application des plus intéressantes pour une analyse d'impact.
8. Les principales sources polluantes sont les salles de préparation du bois, les pertes provenant des lessiveurs et des liqueurs de cuisson pour les procédés de mise en pâte chimiques. Il y a aussi les pertes accidentelles provenant des diverses opérations telles la récupération des liqueurs de cuisson ou de blanchiment.
9. Les principaux paramètres affectés par les eaux usées des pulperies sont la matière en suspension, la D.B.O.<sub>5</sub>, la D.C.O., l'oxygène dissous ainsi que les différents produits toxiques.

10. Les normes québécoises régissant les pâtes et papiers ne visent présentement que deux paramètres: la matière en suspension et la D.B.O.<sub>5</sub>. Il y a donc, encore, beaucoup à faire en matière de normes pour arriver à limiter les impacts sur le milieu.
11. Pour la rivière St-François, l'étude démontre qu'il faudrait commencer par limiter l'apport des matières en suspension, ensuite des produits toxiques. Même si les concentrations des toxiques ne sont pas léthales une fois dans le milieu, il y a toujours le risque des effets subléthaux.
12. Le nombre de liens n'est pas toujours représentatif de la grandeur de l'impact. Pour pallier à cette difficulté, il y aurait lieu de chiffrer, dans une étude ultérieure, les liens reliant les éléments des différents niveaux. Ce chiffrage s'appliquerait aux éléments mêmes du niveau.

BIBLIOGRAPHIE

- ALDERDICE, D.F. et BRETT, J.R. (1957). "Some effects of kraft mill effluent on young pacific salmon". Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 14: 783-795.
- ALDERDICE, D.F., WICKETT, W.P. et BRETT, J.R. (1958). "Some effects of temporary exposure to low dissolved oxygen levels on pacific salmon eggs". Bull. Fish. Res. Bd. Canada, 15: 229-249.
- AMBERG, H.R. (1970). "Water pollution control in the pulp & paper industry". Industrial water engineering, p. 26.
- ANONYME (1975). "Rapport qualité Domtar St-François". Projet 74-7128-01. (rapport en voie de rédaction).
- AQUATIC LIFE ADVISORY COMMITTEE OF THE OHIO RIVER VALLEY WATER SANITATION COMMISSION (1955). "Aquatic life water quality criteria". First progress report. Sewage & industrial wastes, 27: 321-331.
- ARMSTRONG, A.D. (1969). "The pulping of wood 1969". Pulp and paper manufacture. Second ed. Vol. 1, Ronald G. Macdonald Ed., John N. Franklin éditeur technique, 1: 191-192.
- BAREL, Y. (1971). "Perspective et Analyse de systèmes, travaux de recherche de prospective". No. 14, La Documentation Française, Paris, IREP, Grenoble.
- BEAK, T.W. (1965). "A biotic index of polluted streams and its relationship to fisheries". O. Jaag ed. Adv. Water Poll. Res. Vol. 1. Program on press. London. pp. 191-215.

- BEAK, T.W. (1961). "Report on survey on the St-Francis River P.Q.". Made for the St-Francis river effluent improvement Committee, Kingston, Ontario.
- BECK, W.M. (1955). "Suggested method for reporting biotic data". Sewage & Industr. Waste 27 (10).
- BELLA, D.A. (1974). "Fundamentals of comprehensive environmental planing". Journal of Professional Activities, Proc. Am. Soc. Civ. Eng., Vol. 100, pp. 17-36.
- BELDINGS, D.L. (1927). "Toxicity experiments with fish in reference to trade waste pollution". American Fisheries Society, 57<sup>e</sup> annual Meeting, Hartford, Connecticut.
- BELLEHUMEUR, G. (1971). "Contrôle et traitement des effluents - division des pâtes et papiers". Département de Génie Chimique, science et technologie des pâtes et papiers. Faculté des Sciences. Université Laval.
- BERGER, H.F. (1966). "Evaluating water reclamation against rising cost of water and effluent treatment". TAPPI, 49 (79A).
- BERKES, F., BUTLER, M.J.A., OTT, B. et ROSS, W.A. (1972). "Environmental aspects of the pulp and paper industry in Quebec". Second revised edition. Publisher under the auspices of Terra Nova (Formerly citizens for social responsibility in science) Mtl.
- BETTS, J.L. et WILSON, G.G. (1966). "New methods for reducing the toxicity of kraft mill bleachery wastes to young salmon". J. Fish. Res. Bd. of Canada, 23, pp. 813-824.
- BETTS, J.L. et WILSON, G.G. (1967). "New methods for reducing the toxicity of kraft mill bleachery wastes to young salmon". Pulp and Paper Mag. Canada 68: T53-T58.

- BEWERS, J.M. et PEARSON, G.J. (1970). "Effects of pulp mill effluent on water quality and biota trace element characteristics". Atlantic Oceanographic Laboratory, Report A.O.L. 1970-8, Bedford Institute.
- BOURRET, D. et THIBAUT, G. (1977). "Graphe de cohérence appliqué aux impacts économiques et écologiques de l'implantation d'une usine de pâtes et papiers à St-Félicien, Lac St-Jean, Québec". Thèse de maîtrise, INRS-Eau, Université du Québec, Québec.
- BOUVENG, H.O. et LUNDSTEDT, K. (1966). "Potable water from surface waters affected by pulp mill effluents". Svensk Papperstidning, 69: 526-534.
- BROUZES, R.J.P. (1975). "Fish toxicity with specific reference to the pulp and paper industry". Mémoire de recherche, Centre de recherches Senneville, Québec, 84 p.
- BROWNING, B.L. "Wood chemistry". Hand book of pulp and paper technology, second edition, Editer by Kenneth W. Britt. pp. 3 à 13.
- BURDICK, G.E., LIPSCHUETZ, M., DEAN, H.F. et HARRIS, E.J. (1954). "Lethal oxigen concentrations for trout and smallmouth bass". New York Fish. and Game Journal, Vol, 1.
- BURFORD, G.M., MASSELLI, N.W. et MASSELLI, J.W. (1963). "White water wastes from paper and paperboard mills". Pollution sources and method of treatment. Prepared for NEIWPC by Wesleyan University. Water Pollution Controll Commission, New England Interstate, Boston.
- BURLINGTON, R.F. (1962). "Quantitative biological assesment of pollution". Water Pollution Controll Federation Journal, 34(2): 179-183.
- CHAMPAGNE, M. (1976). "Mercure au Québec". (dossier chronologique) service de recherche bibliothèque de la législature.
- CHIAVERINA. (1970). "Les problèmes d'épuration dans les industries des pâtes et des papiers". Pollution et traitement des eaux, Université

des Sciences et techniques du Languedoc, Montpellier, Dept Services et Techniques de l'eau, pp. 59-65.

- CHIDESTER, G.H., KELLER, H.L. et SANYER, N. (1969). "The pulping of wood 1969". Pulp and paper manufacture. Second edition, Vol. 1, Ronald G. Macdonald Editeur, John N. Franklin editeur technique, pp. 226-276.
- CLARK, H.A. et TURNER, W.C. (1969). "Ontario's pollution control for pulp and paper: a pattern for the nation?". Pulp and Paper Mag. of Canada, 7 nov. 1970, pp. 67-73.
- COLE, A.E. (1935). "The toxicity of methyl mercaptan for fresh water fish". Journal of Pharmacology and experimental therapeutics, 54: 448-453.
- COLLINS, J.W., WEBB, A.A., DIDWANIA, H.P. et LUECK, B.F. (1969). "Components of wood pulp bleach effluents". Environmental Science and technology 3: pp. 371-377.
- CONSEIL DES PRODUCTEURS DE PATES ET PAPIERS DU QUEBEC. (1973). "Papier Québec". Service des relations publiques du conseil, au 500, Grande-Allée est Québec 4.
- COOK, R.H. et HOCS, R.A. (1971). "Toxicity monitoring of a primary treated kraft pulp mill effluent at Newcastle, New-Brunswick". Manuscript Report, Fisheries Service, Dept. of Fisheries & Forestry of Canada.
- COOPER, G.P. et WASHBURN, G.N. (1946). "Relation of dissolved oxygen to winter mortality of fish in Michigan Lakes". Trans. Am. Fish. Soc. 76: 23-33.
- CORY, R.L. et NAWMAN, J.W. (1970). "Pollution of estuaries: effects of pulp mill effluent on the epifauna". Marine Pollution Bulletin 1 (6): 92-94.

- COUILLARD, D. (1975). "Problématique de l'évaluation environnementale, l'approche systémique et la prise de décision". INRS-Eau, rapport interne no 51, non publié.
- COUILLARD, D. (1975a). "Le graphe de cohérence et l'évaluation des impacts économiques". INRS-Eau, rapport interne no 52, non publié.
- COUNCIL ON ECONOMIC PRIORITIES (THE) (1971). "Paper profits - Pollution in the pulp and paper industry". Written by: Leslie Allan, Eileen Kaufman, Joanna Underwood, U.S.A.
- COUNCIL ON ECONOMIC PRIORITIES (THE) (1971). "Water quality criteria" Paper profits - Pollution in the pulp and paper industry". New-York.
- DARRIERE, J. (1974). "Les pêches professionnelles du Bas-Adour, leur évolution et leurs problèmes, les causes de diminution des pêcheurs professionnels". Secrétaire du syndicat des Marins-Pêcheurs de Bayonne.
- DARLY, R.L., HOLOMAN, V.L., KEMP, H.T. et LITTLE, R.L. (1973). "Water quality criteria data book - Vol. 5: Effects of chemicals on aquatic life". Grant number R-800842, project number 18050 HLA Office of research and development, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. 20460.
- DAVIDSON, R.C., BREEZE, W.P., WARREN, C.E. et DOUDOROFF, P. (1959). "Experiments on the dissolved oxygen requirements of cold water fishes". Sewage and Industrial Wastes, 31: 950-966.
- DEAN, D. et HASKIN, H.H. (1964). "Benthic repopulation of the Raritan River estuary following pollution abatement". Limnol. Oceanogr. 9: pp. 551-563.
- DIRECTION DE L'ENVIRONNEMENT (FRANCE). (1972). "Application des techniques avancées à la lutte contre la pollution dans l'industrie des pâtes

et papiers". Organisation de Coopération et de développement économique. Paris.

DOUDEROFF, P. et SHUMWAY, D.L. (1967). "Dissolved oxigen criteria for the protection of fish". American Fisheries Society, Special publication No. 4.

DOUDEROFF, P. et WARREN, C.E. (1965). "Dissolved oxigen requirements of fishes". Biological problems in water pollution. Third seminar 1962. Public Health Service Publication 999-WP-25. Robert A. Taft Sanitary Engineering Center, U.S. Public Health Service, Cincinnati, Ohio, 145-155.

ENVIRONNEMENT CANADA - PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT. (1972). "Lignes directrices concernant le règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers". Règlements, codes et accords. Rapport 2, Direction générale de la lutte contre la pollution des eaux, Mai 1972.

FEDEROV, V.D. et SOKOLOVA, S.A. (1972). "An attempt to evaluation the stability of an aquatic ecosystem". Hydrobiol. J. 9(2): 6-8.

FRY, F.E.J. (1957). "The aquatic respiration of fish". M.E. Brown ed. The physiology of fishes, Vol. 1. Academic Press Inc., New York, pp. 1-63.

GEHM, H. (1973). "State of the art review of pulp and paper waste treatment". Contract No. 68-01-0012, Projects 12040 GLV, 12040 HAR, Office of research and monitoring, U.S. Environmental Protection Agency, Washington D.C. 20460.

GEHM, H.W. (1963). "The activated sludge process for pulp and paper mill effluents". Industrial Water Wastes, 23, July-Aug. 1963.

GEHM, H.W. et GELLMAN, I. (1965). "Practice, research and development in biological oxidation of pulp and paper mill effluent". J. Water

- Pollut. Control Fed., 37: 1392-1398.
- GOVE, G.W. et GELLMAN, I. (1971). "A review of the 1970 literature on waste and water pollution control". Paper and Allied Products, J. Water Poll. Control Fed., 43(6): 956-983.
- GREGORY, L.A. et LOCH, J.S. (1973). "A benthos survey (1972) in the North Saskatchewan River in the Vicinity of the Prince Albert Pulp Company, Prince Albert, Saskatchewan". Technical Report Series No. Cent-73-2, Resources Management Branch, Central region, Winnipeg, Manitoba.
- HAGMAN, N. (1936). "Resin acids detrimental to fish life". Pappers-Travartid- Finland 18, No. 1: 32-34, 36-38, 40-41.
- HAMMAR, B. et RYDHOLM, S. (1970). "Measures taken against water pollution in the kraft pulp & paper industry". Proceedings International Congress on industrial waste waters, Stockholm, 1970, pp. 263-298.
- HAYNES, D.C. (1966). "A survey of the pulp and paper industry". TAPPI, 49, 5PA.
- HAYOU, E.P., AMBERG, H.R. et DIMICK, R.E. (1952). "The effects of kraft mill waste components on certain salmonoid fishes on the Pacific Northwest". TAPPI 35 (12): 545-549.
- HERBERT, D.W. et RICHARDS, J. (1963). "The growth and survival of fish in some suspended solids industrial oxygen". Air and Water Pollution Int. Jour. (in press).
- HOLLAND, G.A., LASATER, J.E., NEWMAN, E.D. et ELDRIDGE, W.E. (1960). "Toxic effects of organic and inorganic pollutants on young salmon and trout". State of Washington Dept of Fisheries, Research Bull. No. 5, September 1960.

- HOLLING, C.S. et GOLDBERG, M.A. (1971). "Ecology and planning". American Institute of Planning Journal 37(4): 221.
- HOWARD, E. et SEBBAS-BERGSTROM, E. (1974). "Internal pollution controls in the pulping industry". Sewage Industrial wastes, Vol. 46, No. 11, pp. 2593-2610.
- HOWARD, T.E. et WALDEN, C.C. (1972). "Effluent characteristics of blanched kraft pulp mills". Pulp and Paper Mag. of Canada, 1972 (1) pp. 73-79.
- HOWARD, T.E. et WALDEN, C.C. (1965). "Pollution and toxicity characteristics of kraft pulp mill effluents". TAPPI, 48: 136-141.
- HOWE, W.C. (1971). "Benefit-cost analysis for water system planning". Water Resources Monograph 2, American Geophysical Union, Washington D.C.
- HYNES, H.B. (1958). "The use of invertebrates as indicators of river pollution". Symposium on water pollution, proc. Lim. Soc. Lon., 170 (2): 165-169.
- JERNELOV, A. (1973). "Influence of the water pollution". Proc. Eu. CEPA Conference, (Rome).
- JOBIN, R. (R.E.Q.). (1971). "Les industries de pâtes et papiers et la pollution". Conférence présentée aux étudiants en Génie Forestier, Forêt Montmorency, Université Laval, Parc des Laurentides, Côté Montmorency.
- JONES, J.R.E. (1964). "Fish and river pollution". Butterworth London.
- KATSUMI KAWABE et TETVO TOMIVAMA. (1955). "Studies on purification of industrial waste-V, on the nature of the poisonous substance in alkali pulp waste". Bull. of the Japanese Soc. of Scientific Fisheries, Vol. 21, No. 1.

- KEITH, I.H. (1969). "Identification of organic contaminants remaining in a treated kraft pulp mill effluent". American Chemical Society, 157 th meeting, Mineapolis, Minn.
- KLEEPE, P.J. et ROGERS, C.N. (1970). "Survey of water utilisation and waste control practices in the Southern pulp and paper industry". Water Resources Res. Inst., University of N.C., Proj. No. A-036-Nc.
- LAVIGNE, J. (1972). "Projet pâtes et papiers". INRS-Eau, Notes de cours.
- LEPINE, G. (1975). "Méthodologie d'évaluation d'impact". Thèse de maîtrise, INRS-Eau, 82 p.
- LESAUTEUR, T. (1967). "Rapport sur l'état des eaux de la rivière Outaouais". Ministère de la Santé du Québec, 55 p. Relevés 1965.
- MÄENPÄÄ, R. HYNINEN, P. et TIKKA, J. (1968). "On the occurrence of abietic and primaric acid type resin acids in the effluents of sulphite and sulphate pulp mills". Paperi Ja Puu, 50(4a) 143-150.
- MANN, K.H. et SPRAGUE, J.B. (1970). "Combatting pollution on the east coast of Canada". Marine Pollution Bull. 1(5): 75-77.
- MARTIN, G. (1964). "Le papier". Collection Que Sais-je?, Presses Universitaires de France, No. 84.
- MAY, R.M. (1971). "Stability in multispecies community models". Math. Bioscience, 12.
- MORIN, J.F. et TRUDEL, R. (1976). "Evaluation de l'impact économique de l'activité manufacturière du bassin de la rivière St-François". Ministère des Richesses naturelles, Direction de l'aménagement, Division de l'affectation Rapport No. 0302-21(7).
- MC DERMOTT, G.N. (1954). "Sources of wastes from kraft pulping". NCASI technical Bull. No. 72.

- MCFARLANE, H.M. (1962). "A review of methods of treating pulp and paper mill effluents other than spent cooking liquors". Pulp & Paper mag. of Canada, 64: T551.
- MC LAREN, R.C. et JACKSON, N.J. (1967). "Impact of water pollution on fisheries in the pacific area". Canadian Fisheries Reports, No. 2: 17-22.
- MC LEOD, J.C. et SMITH, L.L. Jr. (1966). "Effects of pulpwood fiber on oxigen consumption and swimming endurance of the fathead minnow, Pimephales promelas". Trans. Am. Fish. Sco. 95, pp. 71-84.
- NORTON, G.A. (1973). "Toward a concept of strategic resource planning". Environmental resource management research unit, Imperial College, Université of London, England. Intern. J. Environmental Studies, 1973, Vol. 4, pp. 189-199.
- ORGANISATION DE COOPERATION ET DE DEVELOPPEMENT ECONOMIQUES. (1973). "La pollution due à l'industrie des pâtes et papiers". Situation et tendances. Paris, pp. 6 à 40.
- PASKA, D.G. (1957). "Carry Falls reservoir investigations". New York Fish and Game Journal, Vol. 4, Jan. 1957, No. 1.
- PARRET, R. (1974). "L'économie et le Vivant". Mélanges Ganigou-Lagrange, Paris.
- PATRICK, R. (1949). "A proposed biological measure of stream conditions, based on survey of the Conestoga bassin, Lancaster country, Pennsylvania". Academy of Natural Sciences of Philadelphia proceedings, 101: 277-341.
- PATRICK, R. (1950). "Biological measure of stream conditions". Sewage & Industr. Wastes 22: 926-938.

- PATRICK, R. (1953). "Biological phases of stream pollution". Pennsylvania Academy of Science, Vol. XXVII.
- PEER, D.L. (1972). "Effects of kraft mill effluent on a marine benthic community". Journal: Water Air and Soil pollution, Vol. 001 No 004, pp. 359-364.
- PEHRSON, S.O. (1958). "Pollution: stream improvement by better technics in the pulp and paper industry". Verh. Internat. Limnol. XIII, 455-462.
- PIKE, D.J. (1971). "Toxicity of chlorine to brown trout *Salmo Trutta linn*". N.Z. Wildl. 33: 1-4.
- PRESTON, E.H. et WARNER, M.L. (1974). "A review of environmental impact assesment methodologies". Contract No. 68-01-1871, Implementation Research Center, Washington D.C., 20460.
- PROVENCHER, M. (1977). "Modèle qualité pour les utilisateurs". (à terminer), Ministère des Richesses naturelles, Service Qualité des Eaux.
- RAPSON, H. (1967). "End all kraft pollution and save money". Canadian pulp & Paper Industry, pp. 73-75.
- REGIE DES EAUX DU QUEBEC. (1965). "Rapport sur l'état des eaux de la rivière Outaouais". Cahier No. 1.
- REGIE DES EAUX DU QUEBEC. (1965). "Rapport sur l'état des eaux de la rivière Outaouais". Cahier No. 2.
- REGIE DES EAUX DU QUEBEC. (1970). "Rapport sur la qualité des eaux de la rivière St-François". Publication No. 30, Vol. 1.
- REGIE DES EAUX DU QUEBEC. (1970). "Rapport sur la qualité des eaux de la rivière St-François". Résumé du rapport, publication No. 30A.
- REGIE DES EAUX DU QUEBEC. (1970). "La première phase des directives de la régie des eaux du Québec à l'industrie des pâtes et papiers - Rap-

port des progrès accomplis". Montréal, 15 octobre 1970.

- RICHARDSON, R.E. (1929). "The bottom fauna of the middle Illinois River, 1913 to 1925: the distribution abundance, valuation and index value". Bull. III, Nat. Hist. Survey, 17(12) pp. 387-475.
- ROSNEY, J. de. (1975). "Le microscope". Editions du Seuil, Paris, 295 p.
- SEPPOVAARA, O. (1971). "Biological testing of the toxicity of waste water from a sulfate mill". Suomen Kem. 44A, Abstr. Bull. Inst. Paper Chem. 42: 9928.
- SEPPOVAARA, O. et HYNINEN. (1970). "On the toxicity of sulfate mill condensates". Paperi Ja Puu, 52(11).
- SHOTWELL, J.S.G. et HENDERSON, A.D. (1957). "Water consumption in the pulp and paper industry". TAPPI monograph serie, No. 18.
- SIMARD, R.E. (1971). "Yeast as an indicator of pollution". Marine Pollution Bull., 2(8): 123-125.
- SINGH, R.P. et ANDREWS, D.H. (1965). "The bleaching of kraft pulp: modifications in the sequences CEDED". Pulp and Paper Mag. of Canada, 66(12): T628-638.
- SMITH, L.L. et KRAMER, R.H. (1962). "Survival of walleye eggs in relation to wood fibers and Sphaerotilus natans in the Rainy River, Minnesota". Trans. Amer. Fish. Soc. 92: 220-234.
- SPRAGUE, J.B. (1971). "Measurement of pollutant toxicity to fish. III Sublethal effects and "safe" concentrations". Water Res. 5: 245-366.
- SPRAGUE, J.B. et DRURY, D.E. (1969). "Avoidance reactions of salmonid fish to representative pollutants". Adv. Water Pollut. Res. 2.
- SPRAGUE, J.B. et MC LEESE, D.W. (1968). "Different toxic mechanisms in kraft pulp mill effluent for two aquatic animals". Water Res. 2: 761-765.

- SPRAGUE, J.B. et MC LEESE, D.W. (1968). "Toxicity of kraft pulp mill effluent for larval and adult lobsters and juvenile salmon". Water Res. 2: 753-760.
- SPRAGUE, J.B. et RUGGLES, C.P. (1967). "Impact of water pollution of fisheries in the Atlantic provinces". Canadian Fisheries Reports, No. 9: 4-15.
- STEWART, D.J. (1970). "Where are we in the multiple use picture?". Pulp & Paper Mag. of Canada 71(17): 69-71.
- STOCKHOLM 1974, PROJET SUEDOIS. (1974). "The SSVL environmental care project". Technical summary, Stockholm 1974, Edited by the Swedish Steam Users' Association, Information Dept.
- TAILOR, R.S. et JAMES, M.C. (1928). "Treatment for removal of chlorine from city water for use in aquaria". U.S. bureau of fisheries, Doc. No. 1045, Rept. U.S. Comm. Fish. app. 7: 322-327.
- TENIERE BUCHOT, P.F. (1972). "L'évaluation technologique". Méthodologie de la recherche - développement et de l'innovation. Thèse de doctorat en Economie appliquée, Paris, 352 p.
- TENIERE BUCHOT, P.F. (1973). "Le modèle Popole". Futuribles XV 2.
- U.S. INTERIOR DEPT. (1967). "Pollutional effects of pulp and paper mill wastes in puget sound". March 1967.
- U.S. DEPARTMENT OF THE INTERIOR - FEDERAL WATER POLLUTION CONTROL ADMINISTRATION. (1967). "The cost of clean water". Volume III, Industrial waste profile No. 3, paper mills, Exept Building, U.S. Government printing office, Washington D.C. 20402.
- USHER, M.B. et WILLIAMSON, M.J. (1973). "Ecological stability". Chapman and Hall, London. A halsted press book, John Wiley and Sons, New York.

- VALLIN, S. (1939). "Water pollution from sulfate cellulose plants".  
Svensk Paperstiou 42: 251-256.
- VAN HORN, W.M. (1960). "The effects of pulp and paper mill wastes on the aquatic habitat requirements". Pulp & Paper Mag. of Canada, Feb. 1960, T67.
- VAN HORN, W.M., ANDERSON, J.B. et KATZ, M. (1949). "The effect of kraft pulp mill wastes on some aquatic organisms". Trans. Am. Fisheries So. 79: 55-63.
- VAN HORN, W.M., ANDERSON, J.B. et KATZ, M. (1950). "The effect of kraft pulp mill wastes on fish life". TAPPI, 33: 209-212.
- VERDUIN, J. (1953). "The tention concept in aquatic biology". Science, 118: 254-255.
- VERNIER, J. (1971). "La bataille de l'environnement". Edition HMH / Le monde qui se fait.
- VICKERMAN, J.L. (1967). "Effluent system of North american kraft mill". Water & Sewage Works, No. 11: 503.
- WALDEN, C.C. (1965). "Water pollution and the kraft pulp mill industry". Western Fisheries, 71(1): 18-20, 34-40.
- WALDEN, C.C., HOWARD, T.E. et SHERIFF, W.J. (1971). "The relationship of kraft pulp mill operating and process parameters to pollution characteristics of the mill effluents". Pulp and Paper Mag. of Canada, (in press) 72(2): 181-187.
- WALDICHUCK, M. (1962). "Some water pollution problems connected with the disposal on pulp mill wastes". Canadian Fish Culturist, 31: 3-34.
- WARNER, M.L. (1974). "A review of environmental impact assesment methodologies". Report EPA- 600/5-74-002 for the environmental protection agency, 27 p.

WERNER, A.E. (1963). "Sulphur compounds in kraft pulp mill effluents".

Canadian pulp and paper Industry, 16(3): 35-43.

WERNER, A.E. (1965). "Suspended solids from mill effluents". Canadian

Pulp & Paper Industry, April 1965, pp. 109-114.

WESTFALL, B.A. (1948). "Fishery leaflet 174". U.S. Fish and Wildlife Ser-

vice. Fishery Leaflet No 174, 1948.

WHITE, J.H. (1969). "The pulping of wood 1969". Pulp and paper Manufac-

ture, Second edition Vol. 1, Ronald Macdonald Ed., John Franklin  
ed. technique, pp. 148-190.

WHITMAN, I., FAHRINGER, D., BAXTER, J., DROBNY, N. et DUKE, K. (1973).

"An environmental evaluation system for water resource planning".

Water Resources Research, Vol. 9, No. 3, 523-535.

WILDING, J.L. (1939). "The oxygen threshold for three species of fish".

Ecology, 20: 253-263.

WILLIAMS, R.W., MAINS, E.M., ELDRIDGE, W.E. et LASATER, J.E. (1953).

"Toxic effects of sulfite waste liquor on young salmon". State  
of Washington Dept. of Fisheries, Research Bull. No. 1.

WILLIAM, J.N. et al. (1970). "Hand book of pulp and paper technology".

Second edition, Kenneth W. Britt, p. 135-239.

WILSON, J.N. (1953). "Effect of kraft mill wastes on stream bottom fauna".

(Stream Pollution), Sewage Industrial Wastes, Vol. 25, No. 10:  
1210-1218.

WOELKE, C.E. (1960). "Preliminary report of laboratory studies on the re-

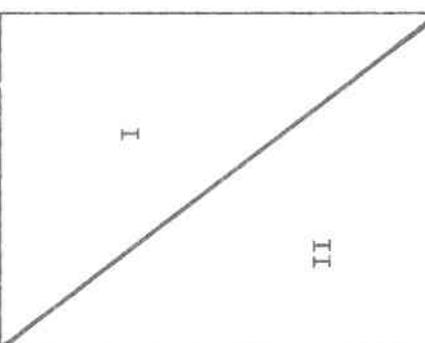
lationship between fresh sulfite waste liquor and the reproduction  
cycle of the Olympia oyster". Ostrea Lurida, State of Washington  
Dept Fish. Res. Bull. No. 6, 107-148.

- WOELKE, C.E. (1960a). "Preliminary report on oyster fook organisms and sulfite waste liquor". State of Washington Dept Fish. Res. Bull. No. 6: 81-85.
- WURSTER, C.F. (1969). "Chlorinated hydrocarbon insecticides and the world ecosystem". Biological conservation, 123-129.
- ZILLICH, J.A. (1972). "Toxicity of combined chlorine residuals to freshwater fish". Journal WPCF 44.

**ANNEXE A**

**Matrice d'impacts**

Cette annexe décompose le graphe de cohérence décrit dans ce mémoire et représente les relations inter-niveaux sous forme matricielle. Cette opération a l'avantage d'explicitier, en simplifiant sous forme bidimensionnelle, les liens d'un graphe de cohérence trop ramifié. Il faut rappeler que cette représentation matricielle est possible grâce à la cohérence des éléments contenus à l'intérieur de chacun des niveaux.

Domtar East-Angus Kruger Bromptonville Domtar Windsor	
x  x  x  x	Pâte mécanique  Mi-chimique, mi-mécanique  Sulfite (acide)  Sulfate (kraft)  Machines à papier



III	IV																														
Ecorçage Mise en copeaux Pâte mécanique "Digester" Blanchiment	<table border="0"> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Mécanique</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Hydraulique</td></tr> <tr><td></td><td>Meubles</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Raffinage du bois</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Soude caustique</td></tr> <tr><td></td><td>Sodium</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Blanchiment I</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Liqueur noire</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Liqueur blanche</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Liqueur verte</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Liqueur rouge</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Chloration</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Extraction de la soude</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Na ou Ca hypochlorite</td></tr> <tr><td style="text-align: center;">x</td><td>Dioxyde de chlore</td></tr> </table>	x	Mécanique	x	Hydraulique		Meubles	x	Raffinage du bois	x	Soude caustique		Sodium	x	Blanchiment I	x	Liqueur noire	x	Liqueur blanche	x	Liqueur verte	x	Liqueur rouge	x	Chloration	x	Extraction de la soude	x	Na ou Ca hypochlorite	x	Dioxyde de chlore
x	Mécanique																														
x	Hydraulique																														
	Meubles																														
x	Raffinage du bois																														
x	Soude caustique																														
	Sodium																														
x	Blanchiment I																														
x	Liqueur noire																														
x	Liqueur blanche																														
x	Liqueur verte																														
x	Liqueur rouge																														
x	Chloration																														
x	Extraction de la soude																														
x	Na ou Ca hypochlorite																														
x	Dioxyde de chlore																														

V / III	
Ecorçage	* M.E.S.
Mise en copeaux	* D.B.O. <sub>5</sub>
Pâte mécanique	* Couleur
"Digester"	* Matières solubles
Blanchiment	* C.O.D.
Lavage du bois	* pH
	* Fibres
	* Acide résine
	* Sucres du bois
	* Acide gras
	* Alcool
	* Acétone
	* Lignine
	* Tanin
	* KMnO <sub>4</sub>

IV V	
Mécanique	M.E.S. x x D.B.O. <sub>5</sub> x Couleur x Matières solubles x C.O.D. pH Fibres x Acide résine Sucres du bois Acide gras Alcool Acétone Lignine Tanin KMnO <sub>4</sub>
Hydraulique	x x x
Meubles	x x x x
Raffinage du bois	x x
Sode caustique	x
Sodium	
Blanchiment I	
Liquueur noire	x x
Liquueur blanche	
Liquueur verte	
Liquueur rouge	
Chloration	x
Extraction de la soude	x
Na ou Ca hypochlorite	x
Dioxyde de chlore	x



V	VIII
M.E.S.	x Var. Densité de population des poissons
D.B.O. <sub>5</sub>	* Suffocation benthos
Couleur	* Photosynthèse cycle
Matières solubles	* Dommages physiologiques aux poissons
C.O.D.	* Dommages mécaniques aux poissons
pH	* Mort des poissons
Fibres	* Destruction frayères
Acide résine	* Destruction nourriture des poissons
Sucres du bois	* Nombre d'espèces
Acide gras	Nombre d'individus
Alcool	* Espèces sensibles
Acétone	Espèces moins sensibles
Lignine	Espèces tolérantes
Tanin	x Mousse
KMnO <sub>4</sub>	Odeur
	Goût

IX V	Vie aquatique Esthétique Eau potable
M.E.S.	*
D.B.O. 5	* X
Couleur	X
Matières solubles	*
C.O.D.	
pH	
Fibres	*
Acide résine	*
Sucres du bois	*
Acides gras	*
Alcool	*
Acétone	*
Lignine	*
Tanin	*
KMnO <sub>4</sub>	X



VII	IX	
Var. densité de population des poissons	*	Vie aquatique
Suffocation du benthos	*	Esthétique
Photosynthèse	*	Eau potable
Dommmages physiologiques aux poissons	*	
Dommmages mécaniques aux poissons	*	
Mort des poissons	*	
Destruction des frayères	*	
Destruction nourriture des poissons	*	
Nombre d'espèces	*	
Nombre d'individus	*	
Espèces sensibles	*	
Espèces moins sensibles	*	
Espèces tolérantes	*	
Mousse		X
Odeur		X X
Goût		X

VIII IX	Vie aquatique Eau potable Esthétique	
Plantes		x
Algues		x
Poissons		x
Benthos		x
Invertébrés	x	

VII VIII	Plantes Algues Poissons Benthos Invertébrés
Variation densité de population poissons Suffocation Benthos	x x
Photosynthèse	x
Dommages physiologiques poissons	x
Dommages mécaniques aux poissons	x
Mort des poissons	x
Destruction frayères	x
Destruction nourriture des poissons	x
Nombre d'espèces	x
Nombre d'individus	x
Espèces sensibles	x
Espèces moins sensibles	x
Espèces tolérantes	x
Mousse	
Odeur	
Goût	