



Environnement
Canada

Environment
Canada



**Cinquième évaluation nationale des données des études
de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de
pâtes et papiers assujetties au *Règlement sur les
effluents des fabriques de pâtes et papiers***

Bureau national des études de suivi des effets sur l'environnement, Direction des secteurs
industriels, Environnement Canada

Décembre 2012

Canada 

N° de cat. : En14-84/2013F-PDF
ISBN : 978-0-662-76944-6

Le contenu de cette publication ou de ce produit peut être reproduit en tout ou en partie, et par quelque moyen que ce soit, sous réserve que la reproduction soit effectuée uniquement à des fins personnelles ou publiques mais non commerciales, sans frais ni autre permission, à moins d'avis contraire.

On demande seulement :

- de faire preuve de diligence raisonnable en assurant l'exactitude du matériel reproduit;
- d'indiquer le titre complet du matériel reproduit et l'organisation qui en est l'auteur;
- d'indiquer que la reproduction est une copie d'un document officiel publié par le gouvernement du Canada et que la reproduction n'a pas été faite en association avec le gouvernement du Canada ni avec l'appui de celui-ci.

La reproduction et la distribution commerciales sont interdites sauf avec la permission écrite de l'administrateur des droits d'auteur du gouvernement du Canada, Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). Pour de plus amples renseignements, veuillez communiquer avec TPSGC au 613-996-6886 ou à droitdauteur.copyright@tpsgc-pwgsc.gc.ca.

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, représentée par le ministre de l'Environnement, 2013

Also available in English

Remerciements

Nous remercions les membres de l'équipe nationale et du comité scientifique des études de suivi des effets sur l'environnement qui nous ont fait profiter de leurs observations et de leurs connaissances scientifiques au cours de l'élaboration du rapport.

Résumé

Le présent document vise à présenter les résultats des études de suivi des effets sur l'environnement menées par les fabriques de pâtes et papiers au Canada au cours du cycle 5 (2007 à 2010). Il résume également les études réalisées pour déterminer les causes des effets environnementaux et pour trouver des solutions contre les effets environnementaux causés par les effluents des fabriques. À des fins contextuelles, le présent document compare également les résultats des études de suivi des effets sur l'environnement des cycles 1 à 5.

Le Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers, en vertu de la *Loi sur les pêches* exige des fabriques de pâtes et papiers qu'elles mènent une étude de suivi des effets à titre de condition régissant le droit de rejeter des effluents. Les effets potentiels des effluents sur les milieux aquatiques récepteurs sont évalués par l'intermédiaire d'un système itératif comportant des phases de suivi et d'interprétation. Les études de suivi des effets sur l'environnement requises par le *Règlement sur les effluents de fabriques de pâtes et papiers* sont composées d'études de suivi biologique visant à évaluer et à étudier les effets des effluents sur les poissons, sur leur habitat et sur l'exploitation des ressources halieutiques, ainsi que d'essais de toxicité sublétales de l'effluent pour en faire le suivi de la qualité. Les renseignements obtenus par le biais des exigences des études de suivi des effets sur l'environnement sont utilisés pour aider à évaluer l'efficacité du *Règlement* concernant la protection de ces ressources aquatiques.

Au cours du cycle 5, 32 fabriques ont effectué des études sur les populations de poissons et 38 % d'entre elles ont déclaré au moins un effet dont l'ampleur est supérieure ou égale au seuil critique d'effet¹. Vingt-sept fabriques ont réalisé des études sur la communauté d'invertébrés benthiques pour évaluer l'habitat du poisson; 48 % de ces fabriques ont déclaré au moins un effet dont l'ampleur est supérieure ou égale au seuil critique d'effet.

Le nombre, l'ampleur et le type d'effets observés pendant le cycle 5 étaient semblables à ceux observés au cours des cycles précédents et illustraient les mêmes types d'effets courants, à savoir un enrichissement en éléments nutritifs chez les poissons et les communautés d'invertébrés benthiques (eutrophisation), accompagné d'une perturbation métabolique se traduisant par une diminution de la taille des gonades chez les poissons.

Les précédentes analyses nationales des études de suivi biologique des effets sur l'environnement ont indiqué que beaucoup des effluents de fabriques avaient des effets sur les poissons et l'habitat du poisson, mais qu'elles avaient très rarement des effets sur l'utilisation des ressources halieutiques.

Lorsque les effets observés au cours des cycles 2 à 5 sur la population de poissons, les communautés d'invertébrés benthiques et l'utilisation des ressources halieutiques, sont pris en compte tous ensemble, 54 des 81 fabriques (67 %) en production et soumises au

¹ Un seuil critique d'effet est une valeur indiquant quel effet pourrait comporter un risque élevé pour l'environnement.

Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers pendant le cycle 5 ont déclaré le même effet constaté dans des études consécutives (connu sous le nom d'effet confirmé) pour au moins un des indicateurs d'effet de l'étude de suivi des effets sur l'environnement. Sur ces 54 fabriques, 11 ont déclaré au moins un effet confirmé d'une ampleur inférieure au seuil critique d'effet et 43 ont déclaré au moins un effet confirmé d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet. Trois fabriques ont confirmé, par l'intermédiaire des études de suivi biologique, que leurs effluents n'avaient pas d'effets sur les populations de poissons et les communautés d'invertébrés benthiques. Six fabriques (7 %) présentaient des effets non confirmés (les mêmes effets ou l'absence d'effets n'étaient pas observés au cours de cycles consécutifs) et 18 fabriques n'ont pas été obligées d'effectuer des études de suivi biologique en vertu du *Règlement* en raison de la faible concentration de l'effluent dans le milieu récepteur.

Depuis 1996, année où toutes les installations ont été assujetties à toutes les exigences du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*, la toxicité sublétales des effluents de fabriques est constante à l'échelle nationale, 50 % des essais n'indiquant aucune toxicité sublétales. Les essais de reproduction et de fécondité en eau douce et en eau de mer ont montré une plus grande réaction (inhibition la plupart du temps) aux effluents de fabriques.

Deux types d'effets courants observés à l'échelle du pays ont été examinés : l'eutrophisation et la diminution de la taille des gonades chez les poissons. On a étudié un troisième effet, constaté à un seul endroit, qui est lié aux dépassements de concentration de dioxines et de furanes dans les tissus de poissons.

Au cours du cycle 5, il y avait un nombre croissant de fabriques qui effectuaient des études de recherche des causes et des solutions. Pendant ce même cycle, 62 fabriques ont réalisé 50 études de suivi biologique (certaines fabriques ont mené les études conjointement). Trente-trois de ces études (35 fabriques) visaient à évaluer les effets et 17 études (27 fabriques), avaient pour but la recherche des causes ou la recherche de solutions.

Les fabriques réalisant des études de recherche des causes de l'eutrophisation ont découvert que les effets observés étaient dus à un enrichissement organique des sédiments, aux biosolides dans les effluents de fabriques (aussi bien actuels qu'historiques), aux éléments nutritifs (en particulier le phosphore) dans les effluents finaux, ainsi qu'à des changements dans la qualité de l'eau en raison des effluents de fabriques. Les enquêtes menées pour déterminer des solutions à l'eutrophisation comportaient des études sur la gestion des éléments nutritifs et sur l'évaluation des sources d'éléments nutritifs. Les solutions courantes déterminées comprenaient la diminution de la quantité du phosphore supplémentaire ou la modification du type de phosphore supplémentaire utilisé, la réduction de la matière organique entrant dans le système de traitement et l'amélioration de la formation de l'exploitant.

Les fabriques effectuant des études de recherche des causes concernant la diminution de la taille des gonades chez les poissons ont constaté que les essais sur la production d'œufs en laboratoire semblaient présenter le meilleur potentiel pour évaluer la capacité d'un effluent à influencer sur la reproduction du poisson. Tandis qu'à l'heure actuelle, le lien entre la production d'œufs en laboratoire et la taille des gonades chez les poissons sauvages

n'est pas clair, il a été déterminé que la production d'œufs en laboratoire lors des essais présentait le plus grand potentiel pour des études ultérieures sur la recherche de causes et de solutions. Les études de recherche des causes ont permis de déterminer des options aux fins d'études ultérieures de recherche des solutions qui préconisent la diminution des pertes de matière organique et des perturbations du traitement biologique.

Étant donné que les fabriques ont progressé par rapport aux exigences en matière de suivi des effets sur l'environnement en vertu du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*, leurs activités de suivi des effets sur l'environnement se sont concentrées sur la recherche des causes des effets observés et sur la recherche de solutions à ces effets. Les mesures en faveur de la détermination des causes et de l'identification des solutions de tous les effets confirmés devraient être accélérées au cycle 6 (de 2010 à 2013) par l'application d'un niveau d'effort proportionnel au niveau de risque. En concentrant davantage de mesures sur les risques les plus élevés et en réduisant les mesures axées sur les risques les plus faibles, il est possible de déterminer les causes de la plupart des effets, ainsi que des solutions à ces derniers, dans un délai plus rapide.

Table des matières

Remerciements	i
Résumé	ii
1. Introduction	7
1.1 Études de suivi des effets sur l'environnement	7
1.2 Détermination et confirmation des effets	8
1.3 Seuils critiques d'effets.....	10
2. Résultats des études du cycle 5	11
2.1 Effets sur les poissons.....	12
2.2 Effets sur les communautés d'invertébrés benthiques	13
2.3 Effets sur l'utilisation des ressources halieutiques	14
2.4 Résultats issus des essais de toxicité sublétales	14
3. Comparaison des résultats des cycles 1 à 5	17
3.1 Activité de suivi des effets sur l'environnement	17
3.2 Effets confirmés sur la population de poissons et sur la communauté d'invertébrés benthiques	18
3.3 Effets sur les ressources halieutiques et leur exploitabilité	22
3.4 Résultats issus des essais de toxicité sublétales	23
4. Études visant à examiner les effets confirmés	26
4.1 Études de recherche des causes et de solutions pour les effets associés à l'eutrophisation	27
4.2 Études de recherche des causes et de solutions pour les effets de la réduction de la taille des gonades chez les poissons.....	28
4.3 Études de recherche des causes et de solutions pour les effets sur les tissus de poissons.....	30
5. Conclusion	31
6. Glossaire	33
7. Références	36

Liste des tableaux

Tableau 1. Étude de la population de poissons – Indicateurs d’effet et critères d’effet	9
Tableau 2. Étude de la communauté d’invertébrés benthiques – Indicateurs d’effets et critères d’effets.....	9
Tableau 3. Seuils critiques d’effets pour le Programme d’étude de suivi des effets sur l’environnement dans le secteur des pâtes et papiers.....	10

Liste des figures

Figure 2.1 Études de suivi biologique menées au cours du cycle 5.....	12
Figure 2.2. Résultats issus de 30 études chez les poissons réalisées au cours du cycle 5.....	13
Figure 2.3. Résultats issus de 27 études chez la communauté d’invertébrés benthiques réalisées au cours du cycle 5.....	14
Figure 2.4. Toxicité sublétales des effluents finaux des fabriques de pâtes et papiers pour des espèces d’eau douce à 62 fabriques (cycle 5).....	15
Figure 2.5. Toxicité sublétales des effluents finaux des fabriques de pâtes et papiers pour des espèces marines à 19 fabriques (cycle 5).....	16
Figure 3.1. Études de suivi biologique menées par cycle.....	18
Figure 3.2. Effets confirmés des effluents de pâtes et papiers pour les 81 fabriques en production et soumises au <i>Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers</i> tout au long du cycle 5.....	20
Figure 3.3. Effets confirmés des effluents de pâtes et papiers pour les 81 fabriques de production et soumises au <i>Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers</i> tout au long du cycle 5.....	21
Figure 3.4. Effets confirmés prioritaires et non-prioritaires des effluents de pâtes et papiers pour les 81 fabriques en production et soumises au <i>Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers</i> tout au long du cycle 5.....	22
Figure 3.5. Pourcentage d’essais n’indiquant pas de toxicité sublétales pour une concentration de l’effluent de 100 % par cycle.....	24
Figure 3.6. Pourcentage d’essais en eau douce n’indiquant pas de toxicité sublétales pour une concentration de l’effluent de 100 % au cours des cycles 1 à 5	25
Figure 3.7. Pourcentage d’essais en eau de mer n’indiquant pas de toxicité sublétales pour une concentration de l’effluent de 100 % au cours des cycles 1 à 5	26

1. Introduction

Le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* de 1992, établi en vertu de la *Loi sur les pêches*, comporte l'exigence² de suivi des effets sur l'environnement dans le but d'évaluer les effets potentiels des effluents sur les poissons, l'habitat du poisson et l'utilisation des ressources halieutiques. Les renseignements obtenus par le biais des exigences des études de suivi des effets sur l'environnement sont utilisés pour aider à évaluer l'efficacité du *Règlement* concernant la protection de ces ressources aquatiques.

Les études de suivi des effets sur l'environnement sont conçues pour détecter et mesurer les changements dans les écosystèmes aquatiques (c.-à-d., les milieux récepteurs). L'étude de suivi des effets sur l'environnement va au-delà d'une simple mesure au point de rejet des concentrations de produits chimiques dans les effluents; elle vise à examiner directement l'efficacité des mesures de protection de l'environnement dans les écosystèmes aquatiques. Les effets à long terme sont évalués au cours d'étapes cycliques de suivi et d'interprétation qui sont conçues pour évaluer et examiner les impacts sur les mêmes paramètres dans les mêmes endroits. De cette façon, on obtient à la fois une caractérisation spatiale des effets potentiels et un enregistrement chronologique pour évaluer les changements survenus dans les milieux récepteurs.

Le présent document fait état des résultats des études de suivi des effets sur l'environnement menées au cours du cycle 5 et compare certains résultats issus des cycles 1 à 5. Il résume également les études réalisées pour déterminer les causes des effets sur l'environnement ainsi que des solutions à ces effets provoqués par les effluents des fabriques de pâtes et papiers.

1.1 Études de suivi des effets sur l'environnement

Les études de suivi des effets sur l'environnement requises par le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* sont composées d'études de suivi biologique visant à évaluer et à étudier les effets des effluents sur les poissons, sur leur habitat et sur l'exploitation des ressources halieutiques, ainsi que d'essais de toxicité sublétales de l'effluent pour en faire le suivi de la qualité³.

² Pour connaître les exigences réglementaires en matière d'études de suivi des effets sur l'environnement, consulter les articles 28 à 31 et l'annexe IV du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* à l'adresse Web suivante : <http://laws.justice.gc.ca/fr/SOR-92-269/index.html>.

³ Pour obtenir de plus amples renseignements sur les études de suivi des effets sur l'environnement des pâtes et papiers, consultez le *Guide technique pour l'Étude de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) des pâtes et papiers* (2010).

Les études de suivi biologique sont menées selon des cycles de trois ans. Les exigences de chaque étude dépendent des résultats de l'étude du cycle précédent. Pour évaluer les effets, les études de suivi biologique sont menées sur trois volets :

- une étude sur la **population de poissons** pour évaluer les effets sur leur santé;
- une étude sur la **communauté d'invertébrés benthiques** pour évaluer l'habitat du poisson (alimentation du poisson);
- une étude sur les dioxines et les furanes dans les **tissus de poissons** pour évaluer l'exploitabilité des ressources halieutiques.

Pour examiner⁴ les effets observés, les études de suivi biologique sont menées dans le but de :

- décrire l'ampleur et la portée géographique des effets;
- déterminer les causes des effets;
- trouver des solutions possibles pour éliminer les effets.

Outre le suivi biologique cyclique, les fabriques effectuent des essais de toxicité sublétales deux fois par an sur les effluents recueillis à partir d'un point de rejet et qui peuvent avoir les répercussions les plus néfastes sur l'environnement. Ces essais permettent de surveiller la qualité de l'effluent en mesurant l'inhibition en matière de survie, de croissance ou de reproduction, ou les trois à la fois, chez les organismes végétaux et invertébrés d'eau marine ou d'eau douce dans un environnement de laboratoire contrôlé⁵. L'exigence de réaliser également des essais sur une espèce de poissons⁶ a été supprimée dans le cadre des modifications du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* de 2008, car l'expérience a démontré que les essais requis basés sur les espèces de poissons n'étaient souvent plus influencés par les effluents des fabriques de pâtes et papiers.

1.2 Détermination et confirmation des effets

Les volets d'étude concernant les populations de poissons et les communautés d'invertébrés benthiques sont menés à la fois dans une zone exposée et dans une zone de référence ou le long des gradients d'exposition. La zone exposée désigne toutes les eaux et tous les habitats fréquentés par les poissons qui sont exposés à l'effluent, et la zone de référence s'entend des eaux fréquentées par les poissons qui ne sont pas exposés à l'effluent et qui contiennent des habitats qui, dans la mesure du possible, sont semblables à ceux trouvés dans la zone exposée.

⁴ Ces études de recherche sont appelées des études de recherche des causes (RDC) et des études de recherche des solutions (RDS).

⁵ Les méthodes d'essai de la toxicité sublétales requises par le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* précisent l'utilisation des espèces suivantes : *Pseudokirchneriella subcapitata* et *Ceriodaphnia dubia* (plante d'eau douce et invertébrés, respectivement); *Champia parvula* et échinoderme (plante marine et invertébré, respectivement).

⁶ Les espèces de poissons précisées avant la modification de 2008 comportaient le *Pimephales promelas* et l'*Oncorhynchus mykiss* (eau douce), le *Menidia beryllina* et l'*Atherinops affinis* (eau de mer).

Le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* définit un effet pour les indicateurs dans chacun des trois volets de suivi biologique et il prescrit en outre l'évaluation des données requise pour des indicateurs précis. En règle générale, un effet sur la population de poissons ou sur la communauté d'invertébrés benthiques signifie qu'il y a une différence statistique entre les données collectées dans la zone exposée et celles collectées dans la zone de référence au cours d'une étude sur la population de poissons ou sur la communauté d'invertébrés benthiques (tableaux 1 et 2). Un effet sur les tissus de poissons signifie que la concentration de dioxines et de furanes chlorés, exprimée selon les équivalents toxiques de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-p-dioxine, est supérieure à 15 picogrammes par gramme (pg/g), poids humide, dans les tissus musculaires ou à 30 pg/g, poids humide, dans le foie ou dans l'hépatopancréas des poissons échantillonnés dans la zone exposée.

Tableau 1 - Étude de la population de poissons – Indicateurs d'effet et critères d'effet

Indicateurs d'effet	Critères d'effet
Survie	Âge
Croissance (consommation d'énergie)	Taille selon l'âge (poids corporel en fonction de l'âge)
Reproduction (consommation d'énergie)	Taille relative des gonades (poids des gonades par rapport au poids corporel)
Condition (emmagasinerage d'énergie)	Condition physique (poids corporel par rapport à la longueur) Taille relative du foie (poids du foie par rapport au poids corporel)

Tableau 2 - Étude de la communauté d'invertébrés benthiques – Indicateurs d'effets et critères d'effets

Indicateurs d'effet	Critères d'effet
Densité totale des invertébrés benthiques	Nombre d'animaux par surface unitaire
Richesse des taxons	Nombre de taxons
Indice de régularité	Indice de régularité de Simpson
Indice de similarité	Indice de Bray-Curtis

Afin d'établir s'il y a des effets sur les indicateurs, les données collectées sur des critères d'effets précis sont évaluées pour déterminer s'il y a une différence statistique entre les zones d'exposition et de référence. Pour confirmer que les effets observés ne proviennent pas simplement d'une étude ponctuelle, les études de suivi biologique pour évaluer les effets sont répétées au cours de cycles subséquents de trois ans. Si on observe le même effet sur la population de poissons, sur la communauté d'invertébrés benthiques ou sur les tissus de poissons au cours de cycles consécutifs d'étude, cet effet est considéré comme confirmé.

1.3 Seuils critiques d'effets

Des seuils critiques d'effets ont été élaborés pour le Programme d'études de suivi des effets sur l'environnement dans le secteur des pâtes et papiers lorsqu'on s'est aperçu que les données d'études de suivi des effets sur l'environnement pour la plupart des fabriques montraient un effet en ce qui a trait à au moins un indicateur d'effet. Un seuil critique d'effet est une valeur indiquant quel effet pourrait comporter un risque élevé pour l'environnement. Une approche fondée sur le risque a été élaborée en s'appuyant sur les seuils critiques d'effets afin de déterminer les risques les plus élevés à l'heure actuelle et de prioriser les mesures sur ces derniers.

Les valeurs des seuils critiques d'effets pour le poisson ont été déterminées en se fondant sur l'ampleur des effets des effluents de fabriques de pâtes et papiers déclarés dans la documentation scientifique, sur les variations naturelles généralement observées et sur l'ampleur des effets relevés au cours du cycle 2 de l'étude de suivi des effets sur l'environnement dans le secteur des pâtes et papiers (Munkittrick *et al.*, 2009). Les valeurs des seuils critiques d'effet pour les invertébrés benthiques ont été déterminées d'après la documentation scientifique et en se fondant sur l'ampleur des effets relevés au cours du cycle 2 et sur des valeurs tombant en dehors de la « fourchette normale » de variabilité dans les zones de référence. À l'exception de ceux ayant trait à l'âge et au poids selon l'âge, qui ont été ajoutés à la liste en 2009, les seuils critiques d'effets présentés au tableau 3 sont utilisés pour prioriser les mesures sur les risques plus élevés depuis le cycle 4 (2004). Un seuil critique d'effet n'a pas été établi pour l'effet sur les tissus de poisson car cet effet est défini selon les teneurs des tissus en dioxines et furanes de poissons exposés à l'effluent et non pas sur la comparaison de poissons provenant des milieux exposés et de référence.

Tableau 3 - Seuils critiques d'effets pour le Programme d'étude de suivi des effets sur l'environnement dans le secteur des pâtes et papiers

Critères d'effet pour le poisson	Seuil critique d'effet	Critères d'effet pour le benthos	Seuil critique d'effet
Taille relative des gonades	± 25 %	Densité	± 2 ET
Taille relative du foie	± 25 %	Richesse des taxons	± 2 ET
Condition	± 10 %	Indice de régularité de Simpson	± 2 ET
Poids selon l'âge	± 25 %	Indice de Bray-Curtis	+ 2 ET
Âge	± 25 %		

Remarque : Les différences relatives aux critères d'effets pour la population de poissons sont exprimées sous forme de pourcentage (%) de la moyenne de référence, alors que les différences relatives aux critères d'effets pour la communauté d'invertébrés benthiques sont exprimées sous forme de multiples de l'écart-type (ET) dans la zone de référence.

2. Résultats des études du cycle 5

Le cycle 5 a débuté le 1^{er} avril 2007 et s'est terminé le 31 mars 2010. Les 81 fabriques de pâtes et papiers soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* pendant cette période ont mené des essais de toxicité sublétales sur leurs effluents finaux et, si nécessaire, des études de suivi biologique pour évaluer les effets ou examiner les effets confirmés.

Parmi les 81 fabriques, 19 n'étaient pas tenues de mener des études de suivi biologique en vertu du Règlement : 18 en raison de la faible concentration de l'effluent dans le milieu récepteur et une en raison de la confirmation de l'absence d'effets dans les études précédentes⁷. Les fabriques restantes (62) ont réalisé 50 études de suivi biologique : 33 études⁸ visaient à évaluer les effets (étude standard ou de rechange sur les poissons, les tissus de poissons ou la communauté d'invertébrés benthiques) et 17 études⁹ étaient conçues pour examiner les effets confirmés (figure 2.1). Les résultats des études visant à évaluer les effets et issus des essais de toxicité sublétales sont repris ci-dessous.

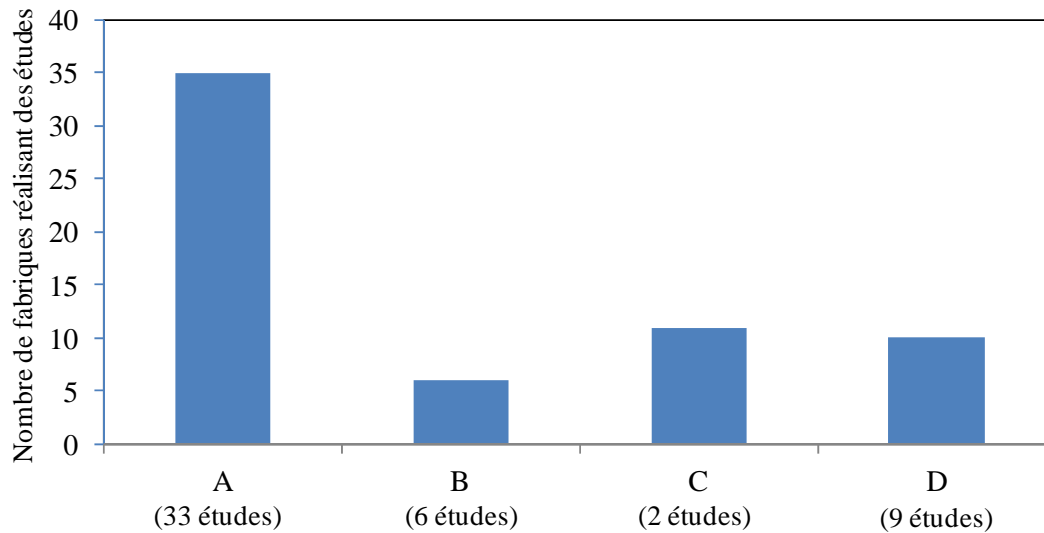
Deux types d'effets courants confirmés observés à l'échelle du Canada ont été examinés au cours du cycle 5 : l'eutrophisation et la diminution de la taille des gonades chez les poissons. Un aperçu de toutes les études de recherche menées jusqu'à aujourd'hui (cycle 4 et 5) pour déterminer les causes des effets confirmés ainsi que les solutions est présenté dans la section 4.

⁷ Des études de suivi biologique sont menées une fois par cycle par toutes les fabriques en production et soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* pour lesquelles la concentration de l'effluent était supérieure à 1 % dans la zone située au-delà de 100 m d'un point de rejet de l'effluent. Avant la modification de 2008, toutes les fabriques ont réalisé des études de suivi biologique concernant la communauté d'invertébrés benthiques, et celles dont la concentration de l'effluent était supérieure à 1 % dans la zone située au-delà de 250 m d'un point de rejet de l'effluent ont également réalisé des études de suivi biologique sur les poissons. Les fabriques confirmant l'absence d'effets dans un volet d'étude surveillent ce dernier sur une période de six ans.

⁸ Comprend deux études conjointes mettant en jeu deux fabriques chacune.

⁹ Comprend une étude conjointe de recherche des solutions mettant en jeu deux fabriques, ainsi que deux études conjointes visant à examiner la diminution de la taille des gonades chez les poissons (une étude incluant deux fabriques et l'étude nationale impliquant neuf fabriques).

Figure 2.1 Études de suivi biologique menées au cours du cycle 5



- A Études de suivi standard ou de rechange pour évaluer les effets
- B Études de recherche des causes concernant l'eutrophisation
- C Études de recherche des causes concernant la diminution de la taille des gonades chez les poissons
- D Études de recherche de solutions concernant l'eutrophisation

Remarque : Certaines fabriques ont réalisé des études conjointement.

2.1 Effets sur les poissons

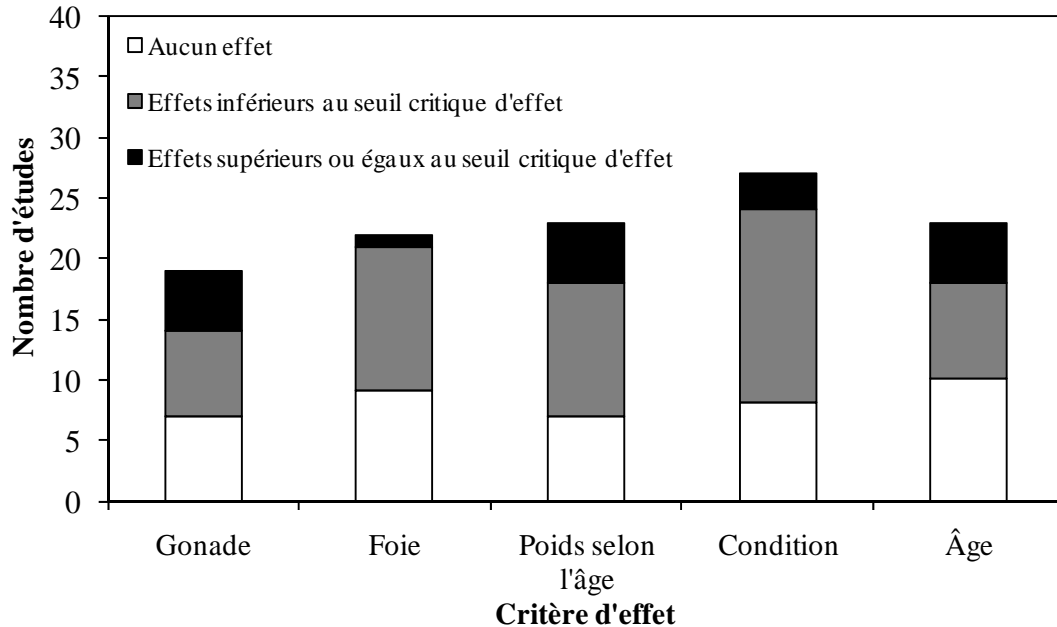
Au cours du cycle 5, 32 fabriques ont réalisé 30 études de suivi biologique¹⁰ afin d'évaluer les effets sur les poissons. Ces études étaient constituées de 16 relevés de la létalité chez les poissons, de trois relevés de la létalité chez les bivalves sauvages, de quatre relevés de poissons effectués à l'aide d'un échantillonnage de la non-létalité et de sept études de suivi de rechange. Parmi les 32 fabriques, 24 ont déclaré un effet pour au moins un des indicateurs d'effets de l'étude de suivi des effets sur l'environnement et sur ces 24 fabriques, 12 ont indiqué au moins un effet d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet. Quatre fabriques ont déclaré une absence d'effets et les études de quatre fabriques n'ont pas fourni de données sur les critères d'effet en raison des complications survenues pendant la réalisation de l'étude et du type d'étude rechange effectuée.

La figure 2.2 indique le nombre de différences non significatives (absence d'effet) et significatives (présence d'effet) observées pour chaque critère de toutes les études exécutées. Le nombre de différences significatives d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet de chaque critère d'effet est également indiqué. Le nombre, l'ampleur et le type d'effets observés pendant le cycle 5 étaient semblables à ceux que l'on a pu observer au cours des cycles précédents (Lowell *et al.*, 2003, 2005; Tessier *et al.*, 2009) et illustraient les mêmes

¹⁰ Comprend deux études conjointes mettant en jeu deux fabriques chacune.

types d'effets courants, à savoir un enrichissement en éléments nutritifs, accompagné d'une perturbation métabolique se traduisant par une diminution de la taille des gonades chez les poissons.

Figure 2.2. Résultats issus de 30 études chez les poissons réalisées au cours du cycle 5

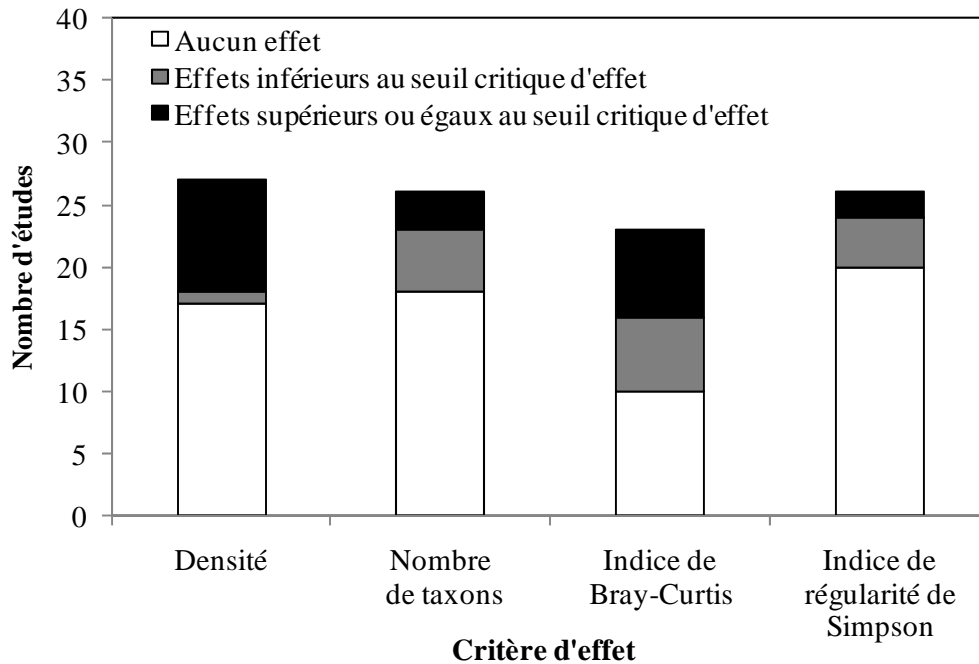


2.2 Effets sur les communautés d'invertébrés benthiques

Au cours du cycle 5, 27 fabriques ont réalisé des études de suivi biologique des effets sur l'environnement afin d'évaluer les effets sur les communautés d'invertébrés benthiques. Ces études comprenaient 22 études de contrôle-impact et quatre plans d'étude par gradient, plus une étude de recharge utilisant des substrats artificiels. Parmi les 27 fabriques, 23 ont déclaré un effet pour au moins un des indicateurs d'effets sur les invertébrés benthiques de l'étude de suivi des effets sur l'environnement et sur ces 23 fabriques, 13 ont indiqué au moins un effet d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet. Quatre fabriques ont déclaré une absence d'effets pour les quatre critères relatifs aux invertébrés benthiques.

La figure 2.3 indique le nombre de différences non significatives (absence d'effet) et significatives (présence d'effet) observées à chaque critère pour toutes les études exécutées. Le nombre de différences significatives d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet de chaque critère d'effet est également indiqué. Le nombre, l'ampleur et le type d'effets observés pendant le cycle 5 étaient semblables à ceux observés au cours des cycles précédents (Lowell *et al.*, 2003, 2005; Tessier *et al.*, 2009) et illustraient les mêmes types d'effets, à savoir des degrés divers d'eutrophisation (p. ex., conditions d'enrichissement en éléments nutritifs).

Figure 2.3. Résultats issus de 27 études chez la communauté d'invertébrés benthiques réalisées au cours du cycle 5



2.3 Effets sur l'utilisation des ressources halieutiques

Pendant le cycle 5, deux fabriques ont effectué une étude des tissus de poissons pour évaluer les effets sur l'exploitabilité des ressources halieutiques. Les deux études ont permis de constater qu'à certaines stations, les concentrations de dioxines et de furanes dans les tissus des poissons dépassaient le niveau défini en tant qu'effet dans le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* (voir la section 1.2). Même si des effets sur les tissus des poissons ont été observés, les concentrations de dioxines et de furanes dans les tissus des poissons relevées au cours du cycle 5 étaient inférieures aux concentrations mesurées pendant le cycle précédent et ont fortement diminué depuis les rapports établis du début au milieu des années 1990.

2.4 Résultats issus des essais de toxicité sublétales

Les fabriques sont tenues de réaliser un essai de toxicité sublétales deux fois par année civile. Les essais sont menés de manière à observer les effets sur la reproduction, la croissance et la fécondité. Le critère utilisé pour mesurer la toxicité sublétales de l'effluent est la concentration inhibitrice qui produit un effet de 25 % (CI₂₅), c'est-à-dire que la concentration de l'effluent causant une réduction de performance (par exemple, une diminution de croissance ou de reproduction) est de 25 % par rapport à la performance des organismes témoins. Si

une concentration de 100 % de l'effluent ne cause pas une inhibition d'au moins 25 %, il est alors déclaré comme ne présentant pas de toxicité sublétales dans le cadre de cet essai (c.-à-d., $CI_{25} > 100 \%$).

Au cours du cycle 5, les 81 fabriques en production soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* ont effectué des essais de toxicité sublétales sur leur effluent final et les résultats étaient semblables à ceux observés dans les cycles 2, 3 et 4. Au cours de ce cycle, le nombre total d'essais menés sur les poissons est inférieur à ceux réalisés sur d'autres espèces, puisque l'exigence d'effectuer un essai sur les poissons a été supprimée dans le cadre des modifications de 2008 au *Règlement*.

Plus de 80 % des essais de toxicité sublétales menés sur les espèces de poissons n'ont révélé aucune toxicité sublétales et 70 % des essais relatifs à l'inhibition de la croissance réalisés sur des espèces de plantes d'eau douce n'ont montré aucune toxicité sublétales. Moins de 30 % des essais sur l'inhibition de la reproduction des invertébrés ou de la fécondité de macroalgues ont indiqué aucune toxicité sublétales (figures 2.4 et 2.5). Les résultats liés aux espèces de poissons *Oncorhynchus mykiss* (eau douce) et *Atherinops affinis* (eau de mer) provenant du cycle 5 ne sont pas indiqués puisque très peu d'essais ont été effectués (résultats de 23 et 17 essais, respectivement).

Figure 2.4. Toxicité sublétales des effluents finaux des fabriques de pâtes et papiers pour des espèces d'eau douce à 62 fabriques (cycle 5)

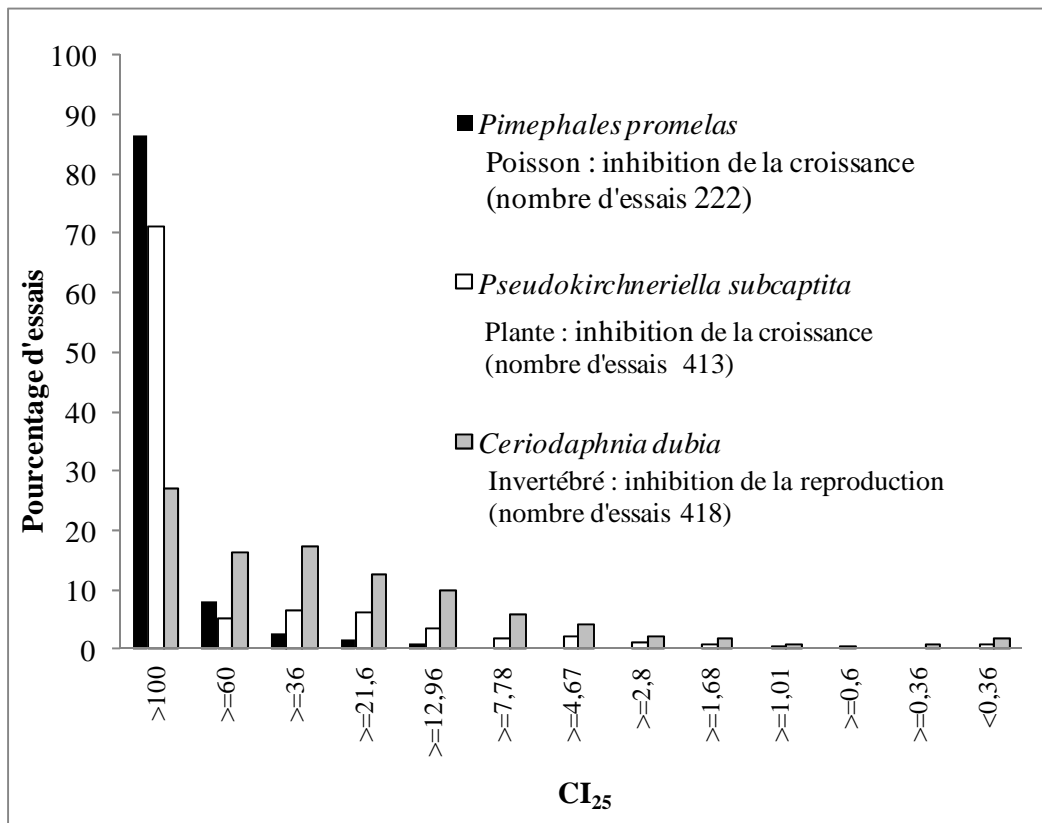
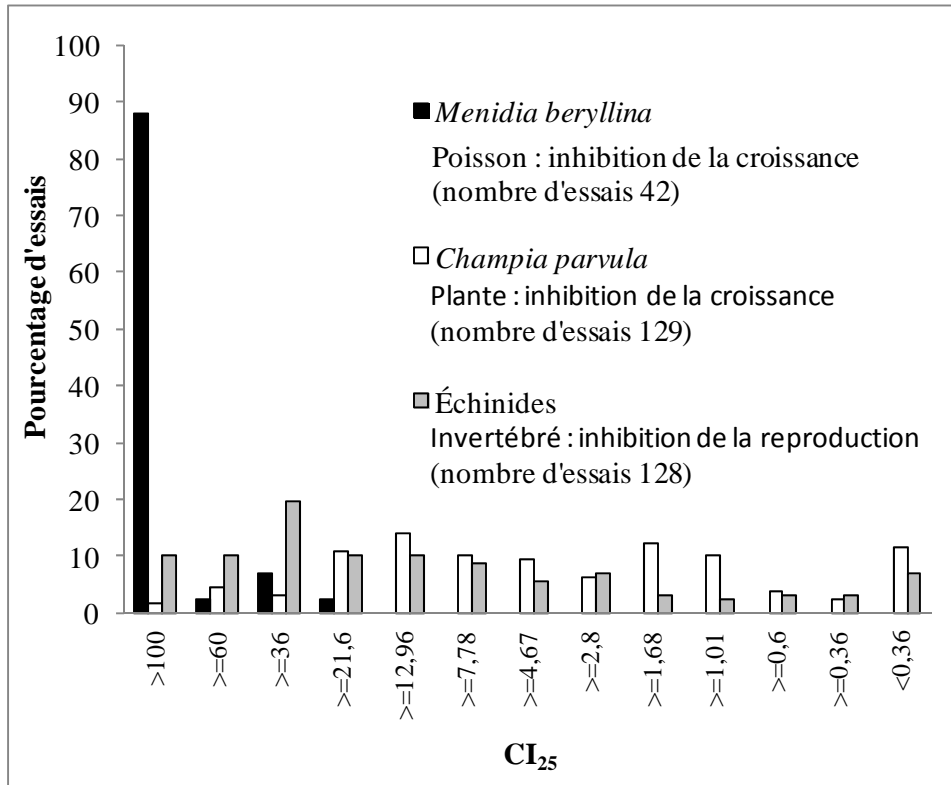


Figure 2.5. Toxicité sublétales des effluents finaux des fabriques de pâtes et papiers pour des espèces marines à 19 fabriques (cycle 5)



3. Comparaison des résultats des cycles 1 à 5

À l'heure actuelle, les fabriques ont terminé leur cinquième cycle de suivi et de production de rapports relativement aux effets sur l'environnement. Les sections ci-dessous décrivent l'activité de suivi des effets sur l'environnement qui s'est déroulée à chaque cycle, fournissent un aperçu des effets confirmés au cycle 5, décrivent les analyses sur les tissus de poissons réalisées jusqu'au cycle 5 et comparent les résultats des essais de toxicité sublétales obtenus à chaque cycle.

3.1 Activité de suivi des effets sur l'environnement

Cycle 1 :	Cycle 2 :	Cycle 3 :	Cycle 4 :	Cycle 5 :
1992-1996	1996-2000	2000-2004	2004-2007	2007-2010
Les résultats des études de suivi des effets sur l'environnement sont utilisés comme données initiales, mais pas pour évaluer les effets.	Les études de suivi des effets sur l'environnement visent à évaluer les effets.	Les études de suivi des effets sur l'environnement visent à évaluer et à confirmer les effets, ainsi qu'à évaluer leur ampleur et leur portée.	Les études de suivi des effets sur l'environnement visent à évaluer et à confirmer les effets, ainsi qu'à évaluer leur ampleur et leur portée. Études de recherche des causes pour examiner les effets.	Les études de suivi des effets sur l'environnement visent à évaluer et à confirmer les effets, ainsi qu'à évaluer leur ampleur et leur portée. Études de recherche des causes et de recherche de solutions pour examiner les effets.

Des études de suivi biologique sont menées une fois par cycle¹¹ par toutes les fabriques en production pour lesquelles la concentration de l'effluent était supérieure à 1 % dans la zone située au-delà de 100 m d'un point de rejet de l'effluent¹². Les études menées au cycle 1 n'étaient pas suffisamment complètes pour évaluer les effets, mais elles étaient utilisées pour établir des résultats initiaux et peaufiner les lignes directrices de suivi afin d'améliorer les futures études. Les études menées aux 2^e et 3^e cycles ont été utilisées pour évaluer et confirmer les effets. Au cycle 4, la majorité des fabriques a continué le suivi biologique

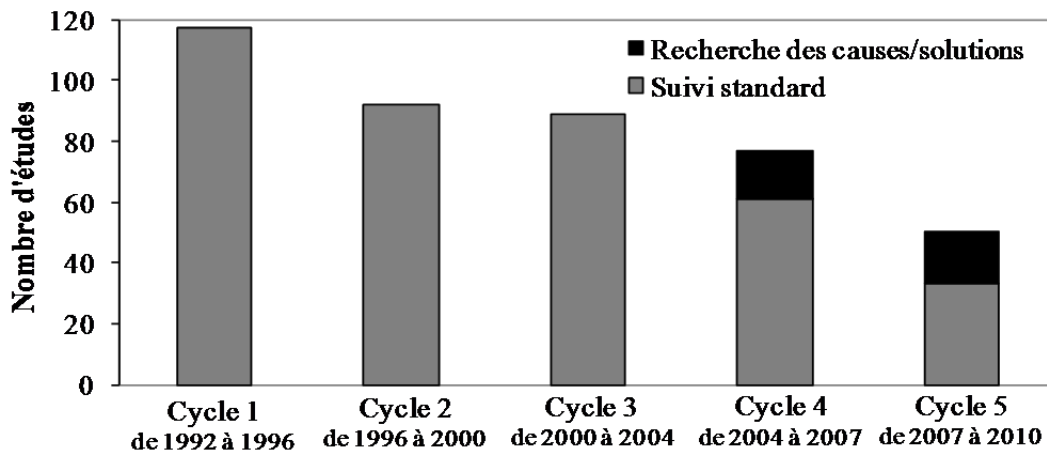
¹¹ Les périodes de suivi des effets sur l'environnement pour les cycles 1, 2 et 3 ont été établies à 4 ans au lieu de 3 ans pour donner plus de temps à l'industrie et au gouvernement pour évaluer les résultats des études et peaufiner d'autres études de suivi.

¹² Avant la modification de 2008, toutes les fabriques en production ont mené des études de suivi biologique concernant la communauté d'invertébrés benthiques, et celles dont la concentration de l'effluent était supérieure à 1 % dans la zone située au-delà de 250 m d'un point de rejet de l'effluent ont également réalisé des études de suivi biologique sur les poissons. Un petit nombre de fabriques n'était pas tenu d'effectuer des études de suivi biologique en raison de conditions dangereuses dans le milieu récepteur de l'effluent qui empêchaient l'échantillonnage.

pour évaluer et confirmer les effets, mais celles ayant eu des effets confirmés au cycle 3 ont mené des études pour déterminer l'ampleur et la portée de ces effets. Certaines fabriques ont effectué des études de suivi biologique pour examiner les causes des effets confirmés. Au cycle 5, un nombre encore plus réduit de fabriques a continué de diriger des études de suivi biologique dans le but d'évaluer et de confirmer les effets. D'autres fabriques ont continué d'examiner les causes, tandis que certaines fabriques (celles qui ont déterminé les causes des effets confirmés au cycle 4) ont mené des recherches pour trouver des solutions permettant d'éliminer ces effets.

Étant donné que les fabriques ont progressé d'un cycle à l'autre, les activités de suivi des effets sur l'environnement se sont davantage concentrées sur la recherche des causes des effets confirmés et sur la recherche de solutions (figure 3.1). Le nombre d'études menées à chaque cycle dépend de plusieurs facteurs, notamment du nombre de fabriques qui sont en production, qui effectuent des études conjointement, dont l'effluent est rapidement dilué, qui confirment l'absence d'effets et qui effectuent un échantillonnage dans des conditions dangereuses.

Figure 3.1. Études de suivi biologique menées par cycle



Des essais de toxicité sublétales sont effectués tout au long des cycles, deux fois par an par toutes les fabriques en production ou une fois par an si la fabrique rejetait des effluents moins de 120 jours par année civile.

3.2 Effets confirmés sur la population de poissons et sur la communauté d'invertébrés benthiques

Les précédentes analyses nationales des études de suivi biologique dans le cadre des études de suivi des effets sur l'environnement (Lowell *et al.*, 2003, 2005; Tessier *et al.*, 2009) ont montré que beaucoup d'effluents de fabriques avaient des effets sur les poissons

et leur habitat, mais n'avaient que très rarement des effets sur l'utilisation des ressources halieutiques (déterminés par les niveaux élevés de dioxines et de furanes dans les tissus des poissons).

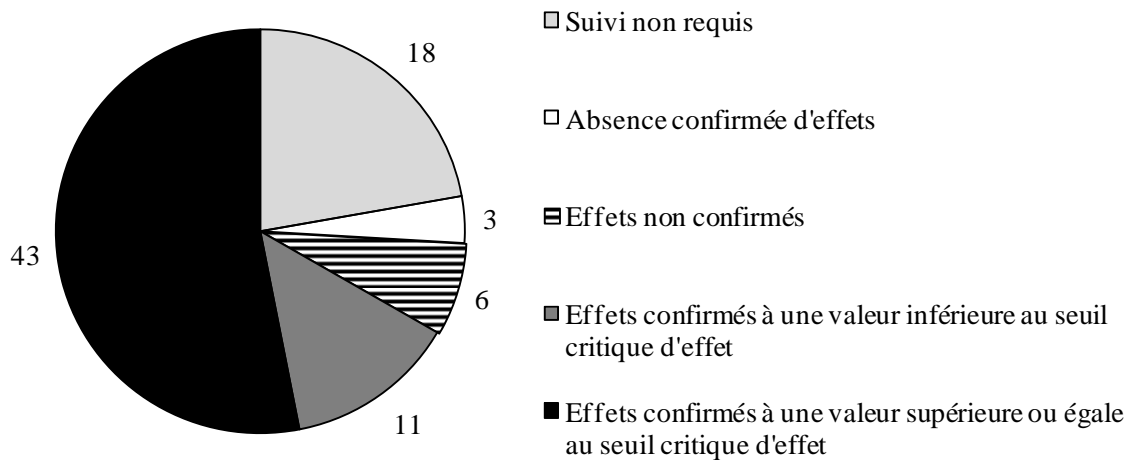
A partir du cycle 3 (premier cycle au cours duquel les effets ont pu être confirmés), environ 70 % des fabriques ont confirmé un effet pour au moins un des indicateurs d'effet, dont environ 45 % des fabriques confirmant des effets liés à l'eutrophisation et 20 % confirmant un effet de réduction de la taille des gonades des poissons.

Au cours des cycles 2 à 5, la réponse nationale moyenne chez le poisson était typique des conditions liées à l'enrichissement en éléments nutritifs, accompagné d'une perturbation métabolique. Plus précisément, les poissons exposés aux effluents des fabriques étaient plus gras et grandissaient plus vite, avec une taille relative du foie plus importante et une taille relative des gonades plus réduite que les poissons non exposés.

La réponse nationale moyenne chez les communautés d'invertébrés benthiques (habitat du poisson) était typique des différents degrés d'eutrophisation (c'est-à-dire des conditions d'enrichissement en éléments nutritifs). Plus précisément, les effets prédominants étaient l'augmentation de la densité des invertébrés et les modifications de la structure de la communauté et de la richesse taxonomique (c'est-à-dire la diversité des espèces ou le nombre d'espèces).

Lorsque les effets observés au cours des cycles 2 à 5 sur la population de poissons, les communautés d'invertébrés benthiques et l'utilisation des ressources halieutiques sont pris en compte tous ensemble, 54 des 81 fabriques (67 %) en production soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* pendant le cycle 5 ont déclaré le même effet confirmé constaté pour au moins un des indicateurs d'effet de l'étude de suivi des effets sur l'environnement (figure 3.2). Sur ces 54 fabriques, 11 (14 % des 81 fabriques) ont déclaré au moins un effet confirmé d'une ampleur inférieure au seuil critique d'effet et 43 (53 % des 81 fabriques) ont déclaré au moins un effet confirmé d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet. Trois fabriques ont confirmé, par l'intermédiaire des études de suivi biologique, que leurs effluents n'avaient pas d'effets sur les populations de poissons et les communautés d'invertébrés benthiques. Six fabriques (7 %) présentaient des effets non confirmés (les mêmes effets ou l'absence d'effets n'étaient pas observés au cours de cycles consécutifs) et 18 fabriques (22 %) n'ont pas été obligées d'effectuer des études de suivi biologique concernant les poissons en vertu du *Règlement* en raison de la faible concentration de l'effluent dans le milieu récepteur.

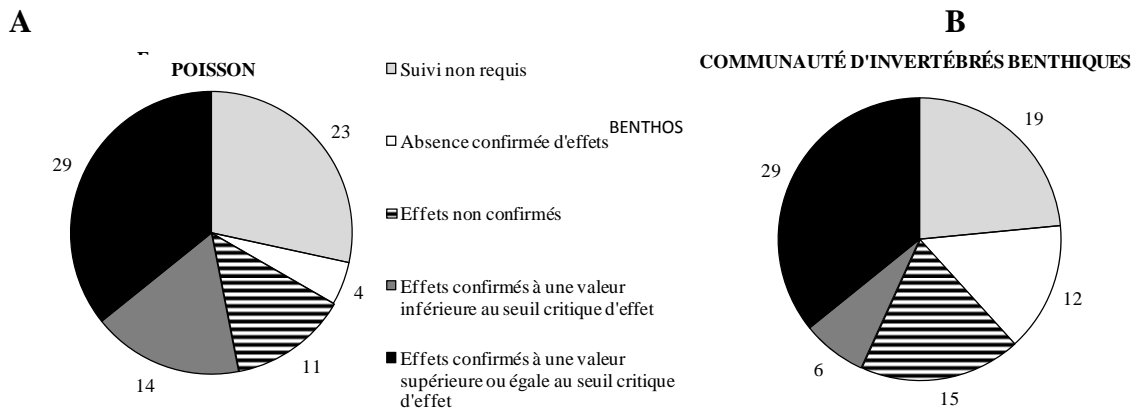
Figure 3.2. Effets confirmés des effluents de pâtes et papiers pour les 81 fabriques en production et soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* tout au long du cycle 5



Remarque : Comprend les effets confirmés sur la population de poissons, sur les communautés d'invertébrés benthiques et sur les tissus de poissons.

Parmi les fabriques en production et soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* tout au long du cycle 5, 43 fabriques (53 %) ont déclaré un effet confirmé pour au moins un des indicateurs d'effet sur les poissons de l'étude de suivi des effets sur l'environnement. Sur ces 43 fabriques, 29 ont déclaré au moins un effet confirmé d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet (figure 3.3A). Quatre fabriques ont confirmé, par l'intermédiaire des études de suivi biologique, que leur effluent avait des effets sur les populations de poissons et que 11 fabriques (14 %) avaient des effets non confirmés sur les poissons (les mêmes effets ou l'absence d'effets n'étaient pas observés au cours de cycles consécutifs). Vingt-trois fabriques (28 %) n'étaient pas tenues de mener des études de suivi biologique pour évaluer les effets sur les poissons en vertu du *Règlement*, et ce, en raison de la faible concentration de l'effluent dans le milieu récepteur.

Figure 3.3. Effets confirmés des effluents de pâtes et papiers pour les 81 fabriques en production et soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* tout au long du cycle 5



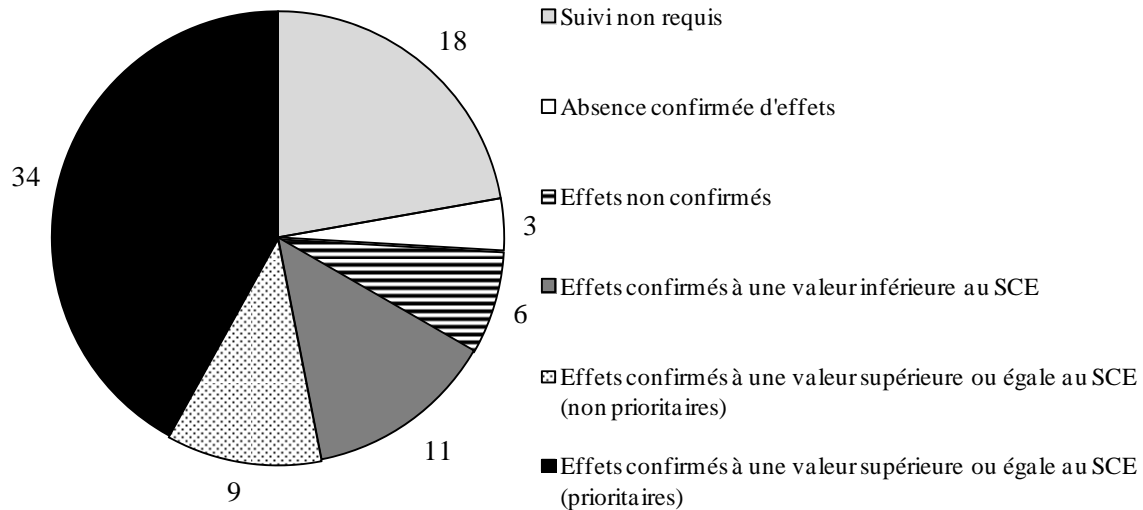
Parmi les fabriques en production et soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* tout au long du cycle 5, 35 fabriques (43 %) ont déclaré un effet confirmé pour au moins un des indicateurs d'effets sur les invertébrés benthiques de l'étude de suivi des effets sur l'environnement; sur ces 35 fabriques, 29 fabriques (36 % des 81 fabriques) ont indiqué au moins un effet confirmé d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet (figure 3.3B). Douze fabriques ont confirmé, par l'intermédiaire des études de suivi biologique, que l'effluent avait des effets sur les invertébrés benthiques (habitat du poisson) et que 15 fabriques (19 %) avaient des effets non confirmés sur les invertébrés benthiques (les mêmes effets ou l'absence d'effets n'étaient pas observés au cours de cycles consécutifs). Dix-neuf fabriques (23 %) n'étaient pas tenues de mener des études de suivi biologique pour évaluer les effets sur les invertébrés benthiques en vertu du *Règlement*, et ce, en raison de la faible concentration de l'effluent dans le milieu récepteur.

En réponse à la recommandation mentionnée dans le rapport de 2005 sur le projet de réglementation intelligente (Environnement Canada, 2005) visant à donner la priorité à l'étude de deux types d'effets prédominants (l'eutrophisation [enrichissement en éléments nutritifs] et la diminution de la taille des gonades chez les poissons), une étude nationale de recherche des causes de la diminution de la taille des gonades de poissons a été lancée au cycle 4. De plus, l'Association des produits forestiers du Canada a élaboré le *Guide des meilleures pratiques de gestion pour la gestion des éléments nutritifs lors du traitement des effluents* (APFC, 2008), afin d'aider les fabriques à réduire les effets d'eutrophisation.

En réponse à la recommandation indiquée dans le rapport de 2005 sur le projet de réglementation intelligente visant l'accélération de l'action globale pour ce qui est de trouver les causes et les solutions, une approche fondée sur le risque a été établie au cycle 5 (de 2007 à 2010) pour l'examen de tous les effets confirmés. Cette approche utilise les valeurs du seuil critique d'effet afin de déterminer des effets importants (supérieurs au seuil critique d'effet) et prioritaires (liés à l'eutrophisation ou à la diminution de la taille des gonades des poissons) considérés actuellement comme étant le plus grand risque. Les mesures en

faveur de la détermination des causes et de l'identification des solutions de tous les effets confirmés devraient être accélérées au cycle 6 (de 2010 à 2013) par l'application d'un niveau d'effort proportionnel au niveau de risque.

Figure 3.4. Effets confirmés prioritaires et non-prioritaires des effluents de pâtes et papiers pour les 81 fabriques en production et soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* tout au long du cycle 5



Remarque : Comprend les effets confirmés sur la population de poissons, sur la communauté d'invertébrés benthiques et les tissus de poissons.

3.3 Effets sur les ressources halieutiques et leur exploitabilité

Les effets sur les ressources halieutiques et leur exploitabilité sont évalués par les résultats d'un suivi des tissus de poissons. Ce suivi détermine les niveaux de dioxines et de furanes chlorés dans les tissus des poissons situés dans les zones exposées. Un suivi des tissus de poissons doit être entrepris si, depuis la présentation du dernier rapport d'interprétation, l'effluent des fabriques contient une concentration mesurable de 2,3,7,8-T4CDD (dioxines) ou de 2,3,7,8-T4CDF (furanes), au sens du *Règlement sur les dioxines et les furanes chlorés dans les effluents des fabriques de pâtes et papiers* pris en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement (1999)*, ou si le rapport d'interprétation le plus récent révèle un effet sur les tissus de poissons.

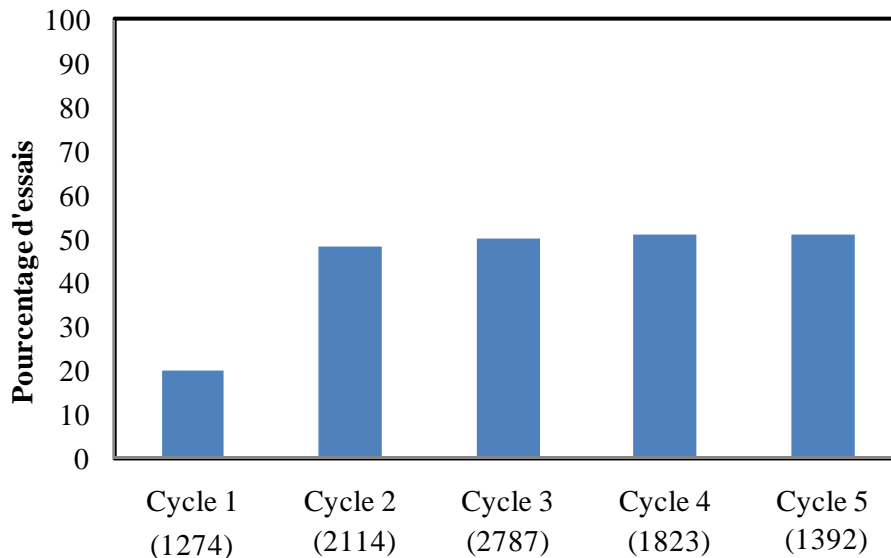
D'une manière générale, 14 fabriques ont réalisé 26 suivis des tissus de poissons à un certain moment au cours des cycles 2 à 5. Sur ces 14 fabriques, la moitié effectuant des suivis des tissus de poissons l'ont fait pendant des cycles consécutifs; une fabrique a confirmé un effet sur les ressources halieutiques comme le définit le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* et a par conséquent mené une étude de recherche des causes. La majorité des fabriques menant des suivis des tissus de poissons étaient situées dans les régions du Pacifique et du Yukon, avec le reste des fabriques situées dans les régions de l'Ontario, du Québec et des Prairies et du Nord.

La plupart des analyses des tissus ont permis de constater que les concentrations de dioxines et de furanes n'étaient pas détectables ou étaient situées au-dessous du niveau défini dans le *Règlement* (voir la section 1.2). Le nombre de fabriques réalisant des suivis de tissus de poissons au cours des cycles 2 à 5 était de dix, huit, six et deux, respectivement. Le déclin progressif dans le nombre de fabriques menant des suivis des tissus de poissons était dû aux concentrations faibles ou non détectables de dioxines et de furanes et aux fermetures de fabriques.

3.4 Résultats issus des essais de toxicité sublétales

Les résultats des essais de toxicité sublétales issus ont indiqué que la toxicité des effluents de fabriques a diminué entre cycle 1 et cycle 2 (figure 3.5). Depuis 1996, lorsque l'industrie s'est totalement conformée au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*, la toxicité sublétales des effluents de fabriques (bien qu'elle varie en fonction de chaque fabrique) est restée constante à l'échelle nationale, 50 % des essais n'indiquant aucune toxicité sublétales. L'amélioration de la qualité des effluents à la suite du cycle 1 a été attribuée à l'amélioration du traitement des effluents après le *Règlement* de 1992 (Lowell *et al.*, 2003). La moitié des essais sur les effluents des fabriques continuent de révéler des réponses de toxicité sublétales.

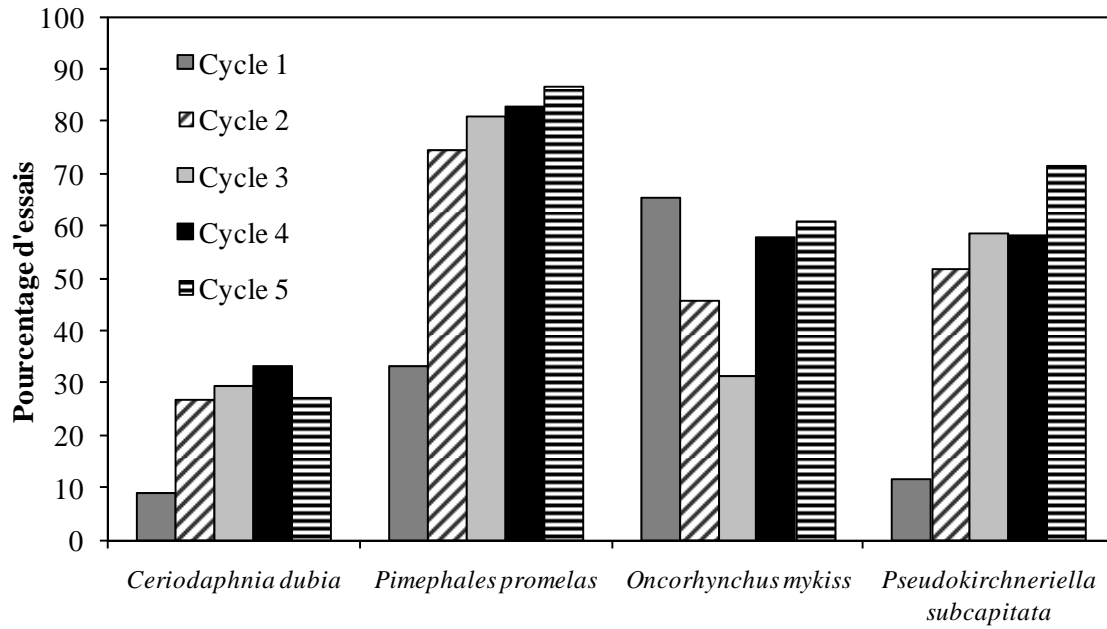
Figure 3.5. Pourcentage d'essais n'indiquant pas de toxicité sublétales pour une concentration de l'effluent de 100 % par cycle



Remarque : Le nombre total d'essais par cycle est indiqué entre parenthèses. Le graphique représente tous les essais de toxicité sublétales menés sur les plantes, les invertébrés et les poissons.

Les essais sur les poissons avec les espèces *Pimephales promelas*, *Atherinops affinis* et *Medinia beryllina* présentés dans les figures 3.6 et 3.7 indiquaient qu'une proportion élevée ne montrait pas de réaction aux effluents de fabriques (c.-à-d., $CI_{25} > 100\%$ ou pas d'effet à la plus forte concentration). Les essais sur les poissons avec l'espèce *Oncorhynchus mykiss* présentés dans la figure 3.6 indiquaient qu'à peu près la moitié ne montrait pas de réaction aux effluents de fabriques. Les essais de toxicité sublétales mesurant les critères de reproduction (*Ceriodaphnia dubia*, échinides, *Champia parvula*), menés en eau douce et en eau de mer au cours des cinq cycles, ont indiqué la plus forte réaction aux effluents de fabriques.

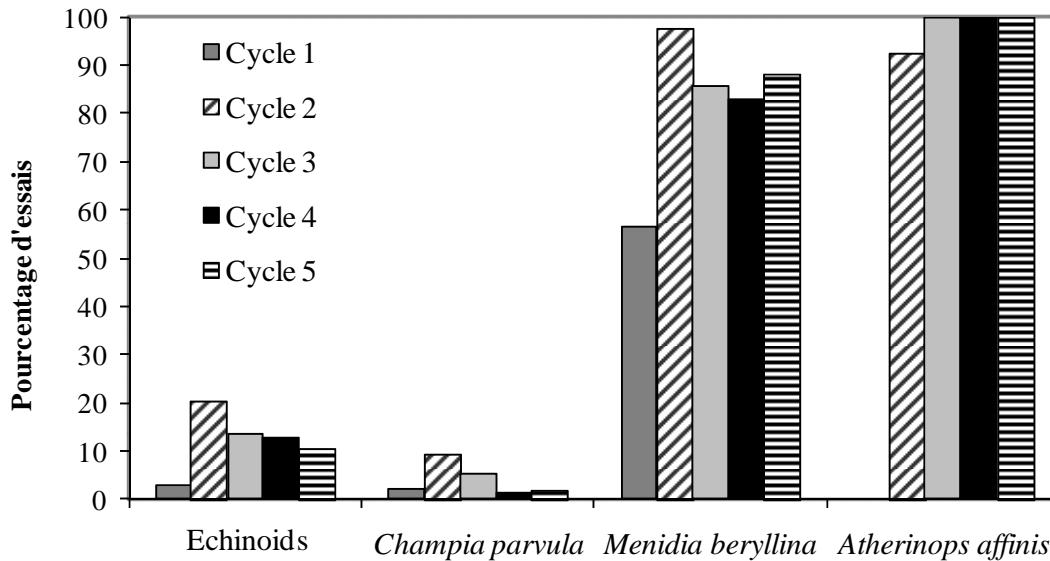
Figure 3.6. Pourcentage d'essais en eau douce n'indiquant pas de toxicité sublétales pour une concentration de l'effluent de 100 % au cours des cycles 1 à 5



Espèce	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	361	514	707	471	418
<i>Pimephales promelas</i>	305	468	614	409	222
<i>Oncorhynchus mykiss</i>	52	70	93	64	23
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	236	532	703	481	413

Remarque : Le nombre d'essais par espèce et par cycle est indiqué dans le tableau.

Figure 3.7. Pourcentage d'essais en eau de mer n'indiquant pas de toxicité sublétales pour une concentration de l'effluent de 100 %¹³ au cours des cycles 1 à 5



Espèces	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5
Échinides	108	175	215	150	128
<i>Champia parvula</i>	106	175	227	158	129
<i>Menidia beryllina</i>	106	124	163	45	42
<i>Atherinops affinis</i>	0	51	65	45	17

Remarque : Le nombre d'essais par espèce et par cycle est indiqué dans le tableau.

4. Études visant à examiner les effets confirmés

Pour examiner les effets confirmés, les responsables de fabrication doivent décrire l'ampleur et la portée géographique des effets, chercher à établir les causes de ces derniers et trouver des solutions possibles pour les éliminer.

échantillonnage supplémentaire en aval de la zone exposée. Certaines fabriques incluaient cet échantillonnage supplémentaire tout en effectuant une surveillance afin d'évaluer les effets. Par conséquent, ces fabriques disposaient des renseignements nécessaires pour décrire l'ampleur et la portée géographique des effets confirmés et pouvaient aller de l'avant avec les études de recherche des causes. Les fabriques qui ne possèdent pas ces renseignements doivent décrire l'ampleur et la portée de leurs effets confirmés avant le

¹³ En raison de la procédure standard utilisée au cours des cycles 1 à 3 qui consiste à ajouter de la saumure hypersaline à l'effluent aux fins d'ajustement de la salinité, une concentration de l'effluent de 60 % était considérée comme étant non diluée. La méthode d'ajustement de la salinité à l'aide de sels secs utilisée au cours des cycles 4 et 5 a permis de réaliser un essai avec un effluent ayant une concentration de 100 %. Les résultats des essais déclarés comme ayant une CI_{25} supérieure à une concentration de l'effluent de 60 % et de 100 % sont regroupés et n'indiquent aucune toxicité sublétales dans le graphique.

début de leurs études de recherche des causes. L'objectif d'une étude de recherche des causes est de déterminer la cause des effets observés et de passer à la recherche de solutions possibles.

Au cours du cycle 4, 16 fabriques ont participé à 14 études¹⁴ afin de rechercher les causes des effets confirmés associés à l'eutrophisation. Au cours du cycle 5, six fabriques ont mené des études de recherche des causes de l'eutrophisation. C'est également au cours de ce cycle que dix fabriques ont participé à neuf études¹⁵ afin de rechercher des solutions aux effets confirmés associés à l'eutrophisation.

Au cycle 4, 12 fabriques ont participé à trois études¹⁶ de recherche sur la diminution de la taille des gonades chez les poissons et 11 fabriques ont participé à deux de ce type d'étude¹⁷ au cycle 5. Un autre effet confirmé (excès des concentrations de dioxines et de furanes dans les tissus des poissons) a également été examiné. Les sections suivantes offrent un aperçu des études de recherche des causes et des solutions menées au cours des cycles 4 et 5.

4.1 Études de recherche des causes et de solutions pour les effets associés à l'eutrophisation

Une grande variété d'études ont été menées pour examiner les effets confirmés dus à l'eutrophisation. Les recherches effectuées pour déterminer les causes comportaient des études sur les sédiments, les communautés des invertébrés benthiques, les poissons, la qualité de l'eau, la modélisation des éléments nutritifs et sur la caractérisation des effluents. Les études sur les sédiments comprenaient le suivi du devenir de la matière organique, la mesure des taux et du délai de sédimentation, ainsi que des études visant à distinguer les dépôts actuels des dépôts historiques. Une variété de paramètres relatifs aux sédiments ont été utilisés, notamment le carbone organique total, l'azote total, le rapport carbone/azote et les sulfures. Les études sur les invertébrés benthiques incluaient le suivi du devenir de la matière organique dans les invertébrés benthiques, des mésocosmes utilisant des invertébrés associés au périphyton et épibenthiques, ainsi que des substrats artificiels. Des études sur les poissons comprenaient le suivi du devenir de la matière organique dans les poissons et des études sur les bivalves en cages. Les études sur la qualité de l'eau visaient à mesurer plusieurs paramètres tels que l'oxygène dissous, la température, l'azote, le phosphore et la chlorophylle *a*. Certaines recherches incluaient la caractérisation de l'effluent et des sources d'éléments nutritifs et d'autres visaient à modéliser les niveaux d'éléments nutritifs dans le milieu récepteur.

Les études de recherche de causes ont révélé, la plupart du temps, que les effets observés étaient liés aux fabriques. Certaines causes précises comprenaient l'enrichissement organique des sédiments, les biosolides dans les effluents de fabriques (aussi bien actuels qu'historiques), les éléments nutritifs (en particulier le phosphore) dans les effluents finaux, ainsi que les

¹⁴ Comprend deux études conjointes mettant en jeu deux fabriques chacune.

¹⁵ Comprend une étude conjointe mettant en jeu deux fabriques.

¹⁶ Comprend deux études conjointes : une étude mettant en jeu deux fabriques et une étude mettant en jeu neuf fabriques.

¹⁷ Comprend deux études conjointes : une étude mettant en jeu deux fabriques et une étude mettant en jeu neuf fabriques.

changements dans la qualité de l'eau en raison des effluents de fabriques. Les études de modélisation ont laissé entendre que le phosphore est un élément nutritif déterminant dans certains milieux récepteurs et qu'il est possible de prédire les niveaux de phosphore qui maintiendraient la densité des algues en dessous des niveaux de nuisance. Les réductions des charges en éléments nutritifs dans les effluents de fabriques afin d'éliminer ou de réduire les effets observés de l'eutrophisation pourraient également être prévues. Quelques études ont indiqué que les effets observés n'étaient pas liés aux fabriques, mais plutôt à des différences dans l'habitat ou à des facteurs de confusion, tels que d'autres installations situées à proximité.

Les recherches de solutions aux effets observés associés à l'eutrophisation comprenaient des études de gestion des éléments nutritifs et des études d'évaluation des sources d'éléments nutritifs. Beaucoup d'installations ont constaté des lacunes dans leurs procédures et processus existants de gestion des éléments nutritifs en comparant leurs processus au *guide des meilleures pratiques de gestion pour la gestion des éléments nutritifs lors du traitement des effluents* de l'Association des produits forestiers du Canada (APFC, 2008). Les solutions courantes déterminées visaient notamment à réduire l'utilisation du phosphore supplémentaire en augmentant la surveillance du système de traitement et de l'ajout automatisé du phosphore, à changer le type de phosphore supplémentaire utilisé, à diminuer la matière organique qui pénètre dans le système de traitement et à améliorer la formation de l'exploitant.

4.2 Études de recherche des causes et de solutions pour les effets de la réduction de la taille des gonades chez les poissons

Deux études conjointes ont été menées pour examiner les effets confirmés de la diminution de la taille des gonades chez les poissons. L'une des études conjointes, à savoir le projet national de recherche des causes et des effets¹⁸ (étude nationale) mettant en jeu neuf fabriques, s'est d'abord penchée sur la sélection d'essais appropriés en laboratoire pour mener des recherches sur cet effet (Kovacs *et al.*, 2007). Le travail effectué comprenait une évaluation des poissons sauvages et une série d'essais en laboratoire sur des poissons, accompagnés d'analyses chimiques approfondies des effluents testés. La durée des essais en laboratoire variait de quelques jours à plus de six mois et couvraient un assortiment d'indicateurs de reproduction chez les poissons allant du niveau biochimique à la production d'œufs. Après avoir choisi l'essai approprié, des études de surveillance à long terme des effluents ont été menées afin de détecter la variabilité temporelle des effluents relativement à la reproduction du poisson (Martel *et al.*, 2010).

¹⁸ L'étude nationale est une initiative de collaboration entreprise par l'industrie et les chercheurs universitaires et gouvernementaux pour déterminer la cause de la diminution de la taille des gonades chez les poissons. Neuf fabriques participaient à cette étude.

Des réactions minimales observées lors des essais réalisés sur des animaux sauvages et de laboratoire ont été rapportées dans l'étude nationale. Les empreintes chimiques et les résultats des essais sur les poissons tendent à montrer que la qualité de l'effluent peut varier un peu. Les essais sur la production d'œufs en laboratoire semblaient être les mieux adaptés pour une évaluation de la capacité de l'effluent à modifier la reproduction du poisson et ont été déterminés comme ayant le plus grand potentiel pour des études ultérieures sur la recherche de causes et de solutions. Il a été reconnu que le lien exact entre les effets des effluents sur la production d'œufs dans les essais à court terme réalisés sur des espèces de poissons de laboratoire et la taille des gonades chez différentes espèces de poissons sauvages n'est pas clair à l'heure actuelle. Toutefois, les effets sur la production d'œufs ont été considérés comme importants et la réalisation d'études de recherche des causes et de solutions à l'aide de ce type d'essai présenterait des avantages pour l'environnement. Dans le cadre des études de recherche de solutions, des initiatives ont été déterminées et préconisent la diminution des pertes de matière organique et des perturbations du traitement biologique. L'étude nationale se poursuit au cycle 6 et les plans doivent inclure des essais à long terme devant intégrer la production d'œufs et les mesures de la taille des gonades à un processus de validation.

L'autre étude conjointe, mettant en jeu deux fabriques, a peaufiné un essai biologique basé sur la production d'œufs chez les choquemorts adultes afin de tester les effets des effluents finaux et des matières en suspension dans les effluents d'usine sur la reproduction des poissons. Des évaluations de la source de la toxicité et des données sur cette dernière ont été appliquées à un effluent pour isoler les flux de déchets au sein de la fabrique causant potentiellement l'effet. Des méthodes permettant de déterminer la catégorie de produits chimiques qui pourraient provoquer une baisse des stéroïdes sexuels du plasma chez les poissons ont été élaborées et peaufinées en les appliquant de façon itérative aux flux de déchets biologiquement actifs. Un profilage chimique ou des empreintes des effluents ont été réalisés à l'aide de la chromatographie en phase gazeuse et de la spectrométrie de masse; les composés séparés ont démontré des effets dans les essais biologiques en laboratoire. L'étude conjointe a permis de conclure que les expériences de liaison des récepteurs androgéniques pouvaient s'avérer prometteuses pour ce qui est d'isoler les composés précis avec une responsabilité potentielle dans la baisse des hormones des poissons liées à la reproduction.

L'exposition des choquemorts à l'effluent final de l'une des fabriques soumises à des essais en laboratoire a eu un impact sur les facteurs définissant la condition (poids et longueur corporels), mais aucun effet important n'a été constaté sur la production d'œufs. L'étude a conclu que l'effluent de la fabrique présente désormais un faible potentiel d'effets reproducteurs chez les espèces utilisées dans les essais en laboratoire ainsi que chez les poissons sauvages, probablement en raison de l'amélioration de la qualité de l'effluent. La fabrique avait modifié son type de production en passant d'un papier journal à un papier surcalandré de qualité élevée, et avait mis à niveau ses processus de traitement des déchets. L'effluent final de l'autre fabrique a eu un effet important sur la production d'œufs des choquemorts en laboratoire, mais ces effets n'ont duré que pendant la première semaine d'un essai de trois semaines.

4.3 Études de recherche des causes et de solutions pour les effets sur les tissus de poissons

Une fabrique a mené des études afin d'examiner un effet confirmé sur les tissus de poissons¹⁹. L'étude de la fabrique a effectué le suivi de sources de matière organique et de contaminants dans l'habitat du crabe (étude sur les sédiments) et dans les crabes (étude sur les tissus de crabes), et a établi un délai de sédimentation (étude sur le carottage de sédiments). Les sédiments récemment déposés ont indiqué des concentrations relativement faibles de dioxines et de furanes et avaient des signatures isotopiques stables semblables à celles des sédiments déposés avant l'ouverture de la fabrique. Les sédiments déposés après l'ouverture de la fabrique, mais avant la mise en œuvre du traitement secondaire de l'effluent, ont présenté des signatures isotopiques différentes et comportaient des concentrations plus élevées de dioxines et de furanes. Les concentrations dans les tissus de l'hépatopancréas des crabes dépassaient le niveau de 30 pg/g poids humide défini en tant qu'effet dans le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*. L'âge des crabes adultes variait entre quatre et dix ans, augmentant ainsi la probabilité que les crabes aient pu se nourrir de contaminants historiques à un certain moment de leur cycle de vie. Les faibles taux de sédimentation ont entraîné un enfouissement lent des fibres et d'autres contaminants liés aux rejets historiques d'effluents. Les dépôts historiques peuvent donc encore être absorbés par les proies potentielles des crabes (p. ex., myes) et les crabes peuvent ingurgiter des contaminants provenant d'autres organismes qui se nourrissent de ces dépôts historiques.

En matière de solutions, on indique que les concentrations de dioxines et de furanes dans les tissus de crabes continueront de diminuer au fur et à mesure que les sédiments contaminés seront enfouis, bien que de faibles niveaux de dioxines et de furanes puissent persister au-delà de cette période (d'enfouissement) en raison de la bioturbation²⁰ et de la décomposition du biote mort contaminé. Les strates contaminées sont probablement déjà enfouies sous des couches biologiquement actives dans des zones abritées ou de sédimentation; toutefois, dans les zones exposées ou d'érosion, les strates fortement contaminées ne seront pas enfouies pendant au moins dix ans et les strates moyennement contaminées ne le seront pas pendant au moins vingt ans.

Ces études de recherche ont été menées au cycle 4. Au cours du cycle 5, la fabrique a réalisé un suivi des tissus de poissons et a constaté que les concentrations équivalentes toxiques totales chez les crabes à quatre stations étaient désormais inférieures au niveau d'effet et que les concentrations aux trois stations restantes avaient diminué par rapport au cycle 4.

¹⁹ Un effet sur les tissus de poissons signifie que la concentration des dioxines et furanes chlorés, exprimées en équivalents toxiques de la 2,3,7,8-tétrachlorodibenzo-para-dioxine, est supérieure à 15 pg/g (poids humide) dans les tissus musculaires ou à 30 pg/g (poids humide) dans le foie ou l'hépatopancréas des poissons capturés dans la zone exposée. Si on observe le même effet sur les tissus de poissons au cours des cycles consécutifs d'études, cet effet est considéré comme confirmé.

²⁰ La bioturbation est le brassage ou le mélange des sédiments ou du sol causés par les activités des organismes, en particulier par les organismes fousseurs.

5. Conclusion

Résultats des études du cycle 5

Au cours du cycle 5, il y a eu une augmentation du nombre de fabriques ayant effectué des études de recherche des causes et des solutions. Pour les fabriques qui ont effectué des études de suivi biologiques, le nombre, l'ampleur et le type d'effets observés pendant le cycle 5 étaient semblables à ceux observés au cours des cycles précédents et illustraient les mêmes types d'effets courants, à savoir un enrichissement en éléments nutritifs chez les poissons et les communautés d'invertébrés benthiques (eutrophisation), accompagné d'une perturbation métabolique se traduisant par une diminution de la taille des gonades chez les poissons. Les résultats des essais de toxicité sublétales menés au cycle 5 étaient semblables à ceux observés aux cycles 2, 3 et 4. Les essais d'inhibition de la reproduction ou de la fécondité ont montré des toxicités plus marquées.

Comparaison des résultats des cycles 1 à 5

Les précédentes évaluations nationales ont indiqué que certains des effluents de fabriques avaient des effets sur les poissons et l'habitat du poisson, mais qu'ils avaient rarement des effets sur l'utilisation des ressources halieutiques.

Au cours des cycles 2 à 5, la réponse nationale moyenne chez le poisson était typique des conditions liées à l'enrichissement en éléments nutritifs, accompagné d'une perturbation métabolique. Plus précisément, les poissons exposés aux effluents des fabriques étaient plus gras et grandissaient plus vite, avec une taille relative du foie plus importante et une taille relative des gonades plus réduite que les poissons non exposés. La réponse nationale moyenne chez les communautés d'invertébrés benthiques (habitat du poisson) était typique des différents degrés d'eutrophisation (c'est-à-dire des conditions d'enrichissement en éléments nutritifs). Plus précisément, les effets prédominants étaient l'augmentation de la densité des invertébrés et les modifications de la structure de la communauté et de la richesse taxonomique (c'est-à-dire la diversité des espèces ou le nombre d'espèces).

Lorsque les effets observés au cours des cycles 2 à 5 sur la population de poissons, les communautés d'invertébrés benthiques et l'utilisation des ressources halieutiques sont pris en compte tous ensemble, 67 % des fabriques ont déclaré un effet confirmé pour au moins un des indicateurs d'effet de l'étude de suivi des effets sur l'environnement et 53 % ont déclaré au moins un effet confirmé d'une ampleur supérieure ou égale au seuil critique d'effet.

Les résultats des essais de toxicité sublétales ont indiqué que la qualité des effluents de fabriques s'est améliorée entre le cycle 1 et le cycle 2. La toxicité sublétales des effluents de fabriques sur une base nationale est constante depuis 1996, moment à partir duquel toutes les installations sont devenues assujetties à l'intégralité des exigences du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*; les effluents des fabriques continuent de déclencher des réponses de toxicité sublétales dans la moitié des essais. Les essais de reproduction et de fécondité en eau douce et en eau de mer ont montré une plus grande réaction (inhibition la plupart du temps) aux effluents de fabriques.

Études visant à examiner les effets confirmés

Deux types d'effets courants observés à l'échelle nationale, basés sur les effets confirmés constatés au cours des cycles précédents, ont été examinés au cours des cycles 4 et 5 : l'eutrophisation et la diminution de la taille des gonades chez les poissons. Un autre effet confirmé, qui est lié aux dépassements des concentrations de dioxines et de furanes dans les tissus de poissons, a également été étudié.

Les solutions courantes déterminées pour l'eutrophisation comprenaient la diminution ou la modification du type de phosphore supplémentaire utilisé, la réduction de la matière organique entrant dans le système de traitement et l'amélioration de la formation de l'exploitant.

Des études de recherche de solutions potentielles relatives à la réduction de la taille des gonades de poisson ont été déterminées et préconisent la diminution des pertes de matière organique et des perturbations du traitement biologique. Les recherches de causes et de solutions de la diminution de la taille des gonades chez les poissons se poursuivront au cycle 6.

La fabrique effectuant une recherche des causes des effets sur les tissus de poissons a découvert que les dépôts historiques sont encore accessibles aux proies potentielles; par conséquent, les prédateurs (poissons et crabes) peuvent accumuler les contaminants de dioxines et de furanes provenant des organismes qui se nourrissent de ces dépôts historiques. L'enfouissement, au cours du temps, des sédiments contaminés par les processus naturels a déjà conduit à une réduction des niveaux de dioxines et furanes dans les proies et cette réduction devrait se poursuivre avec le temps.

Étant donné que les fabriques ont progressé relativement aux exigences en matière de suivi des effets sur l'environnement en vertu du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*, les activités de suivi des effets sur l'environnement se sont concentrées sur la recherche des causes des effets observés et sur la recherche de solutions à ces effets. Les mesures en faveur de la détermination des causes et de l'identification des solutions de tous les effets confirmés devraient être accélérées au cycle 6 (de 2010 à 2013) par l'application d'un niveau d'effort proportionnel au niveau de risque. En concentrant davantage d'effort sur les risques les plus élevés et en réduisant l'effort axé sur les risques les plus faibles, il est possible de déterminer les causes de la plupart des effets, ainsi que des solutions à ces derniers, dans un délai accéléré.

6. Glossaire

Communauté d'invertébrés benthiques – Populations de petits animaux en interaction (à l'exclusion des poissons et des autres invertébrés) qui vivent au fond d'un plan d'eau et qui peuvent servir de nourriture aux poissons. La mesure de l'évolution des communautés d'invertébrés permet de mieux comprendre les modifications des habitats aquatiques et d'évaluer les ressources alimentaires aquatiques à la disposition des poissons.

Condition – Mesure de la condition physique des poissons fondée sur le rapport entre le poids et la longueur du corps. Le coefficient de condition exprime essentiellement l'adiposité des poissons dans chaque zone.

Densité – Nombre total d'individus (exprimé par unité de surface) de toutes les catégories taxonomiques qui ont été prélevés à une station d'échantillonnage (l'abondance totale).

Effet – Dans le contexte du Programme d'études de suivi des effets sur l'environnement, un effet désigne une différence statistiquement significative entre des mesures réalisées dans une zone exposée et celles réalisées dans une zone de référence, ou parmi des mesures réalisées dans des zones d'échantillonnage où la concentration de l'effluent diminue graduellement.

Enrichissement en éléments nutritifs – Effet résultant de l'ajout dans un milieu de quantités importantes de substances nutritives organiques ou inorganiques.

Eutrophisation – Surfertilisation d'un plan d'eau par des éléments nutritifs qui se traduit souvent par une production excessive de biomasse organique et qui se caractérise par un grand nombre d'organismes et, lorsqu'elle est prononcée, par un nombre restreint d'espèces. L'eutrophisation est un processus naturel qui peut être accéléré par une augmentation de la charge d'éléments nutritifs dans un plan d'eau découlant d'activités humaines.

Indice de Bray-Curtis – Indice qui sert à mesurer le degré de différence de la structure des communautés (plus particulièrement la composition taxonomique des communautés) entre les sites. Cette mesure facilite l'évaluation de la dissimilarité entre les communautés d'invertébrés benthiques de sites différents.

Indice de régularité de Simpson – Mesure de la régularité avec laquelle les taxons sont représentés. Cette mesure permet d'évaluer les changements dans l'abondance relative des taxons.

Perturbation métabolique – Le métabolisme est un mécanisme de l'organisme qui assure la synthèse de substances complexes à partir de substances plus simples ou la dégradation de substances complexes. La perturbation du métabolisme par une exposition à des substances nocives présentes dans l'environnement peut donner lieu à des déséquilibres importants de la maturation, du comportement sexuel, de la croissance et d'autres aspects de l'organisme.

Plan contrôle-impact – Plan d'étude comportant au moins une zone de référence, généralement située en amont de la mine ou dans un autre bassin versant, et une ou plusieurs zones exposées, souvent situées en aval.

Plan par gradient – De façon générale, plan selon lequel l'échantillonnage est réalisé selon un gradient de concentrations décroissantes de l'effluent, en débutant par les zones exposées situées à proximité de la fabrique et en progressant vers les zones moins exposées, situées plus loin. Ce plan d'étude a parfois été utilisé dans des situations où il y avait une dilution rapide des effluents.

Poids relatif du foie – Mesure du stockage de l'énergie des poissons et de la réponse à une exposition à une substance toxique décrivant le rapport entre le poids du foie et le poids corporel.

Recherche des causes – Étude qui doit être menée une fois qu'un effet sur les poissons, les tissus de poissons ou l'habitat du poisson est constaté et confirmé. L'étude de recherche des causes vise à recueillir des renseignements pour déterminer la cause d'un effet.

Poids relatif des gonades – Mesure de l'allocation d'énergie à la reproduction chez les poissons décrivant le rapport entre le poids des gonades et le poids corporel.

Poids selon l'âge – Mesure du taux de croissance des poissons décrite par le quotient de la taille (poids) sur l'âge. Au cours de la vie d'un poisson, le taux d'accroissement de la taille peut diminuer avec l'âge.

Recherche de solutions – Une fois qu'un effet sur les poissons, les tissus de poissons ou l'habitat du poisson est confirmé et que la cause est déterminée, une fabrique est tenue d'effectuer des études visant à déterminer les solutions possibles pour éliminer l'effet.

Richesse taxonomique – Nombre total des diverses catégories taxonomiques auxquelles appartiennent les organismes prélevés à une station d'échantillonnage.

Taxon – Les organismes sont classés selon des catégories en fonction de leurs similitudes et des relations évolutives entre eux. Chacune de ces catégories (espèce, genre, famille, phylum) est appelée un taxon.

Toxicité sublétales – Dans le contexte des études de suivi des effets sur l'environnement, les essais de toxicité sublétales mesurent la proportion d'organismes ayant subi une exposition à des concentrations précises des effluents de fabriques de pâtes dans un laboratoire. L'essai de toxicité sublétales mesure ce qui est nuisible à l'organisme (p. ex., effets sur la croissance ou sur la reproduction), mais à un niveau inférieur à celui qui cause directement la mort pendant la période d'essai.

Zone exposée – Zone d'échantillonnage où les poissons et les invertébrés benthiques sont exposés aux effluents des mines. Cette zone peut s'étendre à plusieurs milieux récepteurs et englober divers types d'habitats.

Zone de référence – Zone d'échantillonnage qui n'est pas exposée aux effluents de la mine étudiée et dont les caractéristiques de l'habitat naturel, y compris les incidences anthropiques, sont semblables à celles de la zone exposée.

7. Références

[APFC] Association des produits forestiers du Canada. 2008. Meilleures pratiques de gestion dans l'utilisation des nutriments pour le traitement des effluents. Ottawa (Ont.) : Association des produits forestiers du Canada. 43 p.

Environnement Canada. 2005. Améliorer l'efficacité et l'efficience de la surveillance des effets environnementaux dans le secteur des pâtes et papiers : un projet de réglementation intelligente. 24 p.

Kovacs, T., *et al.* 2007. Projet national d'investigation sur les causes – Cycle 4. Rapport final. Environnement Canada. 53 p.

Lowell, R.B., Ribey, S.C., Ellis, I.K., Porter, E.L., Culp, J.M., Grapentine, L.C., McMaster, M.E., Munkittrick, K.R., Scroggins, R.P. 2003. National Assessment of the Pulp and Paper Environmental Effects Monitoring Data. Gatineau (Qc) : Institut national de recherche sur les eaux, Environnement Canada. Collection de l'Institut national de recherche sur les eaux, n° 03-521. 124 p.

Lowell, R.B., Ring, B., Pastershank, G., Walker, S., Trudel, L., Hedley, K. 2005. Évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers : Résultats des cycles 1 à 3. Burlington (Ont.) : Institut national de recherche sur les eaux. Série de rapports d'évaluation scientifique de l'Institut national de recherche sur les eaux, rapport n° 5. 44 p.

Martel, P., *et al.* 2010. Cycle 5 – Projet national de recherche de causes. Rapport final. Environnement Canada. 101 p.

Munkittrick, K.M., Arens, C.J., Lowell, R.B., Kaminski, G.P. 2009. A review of potential methods of determining critical effects size for designing environmental monitoring programs. *Environ. Toxicol. Chem.* 28(7):1361-1371.

Tessier, C., Lowell, R.B., Willsie, A., Kaminski, G.P. 2009. Évaluation nationale des données du cycle 4 du Programme de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers. Gatineau (Qc) : Environnement Canada. 48 p.

www.ec.gc.ca

Pour des renseignements supplémentaires :

Environnement Canada

Informatèque

10, rue Wellington, 23^e étage

Gatineau (Québec) K1A 0H3

Téléphone : 1-800-668-6767 (au Canada seulement) ou 819-997-2800

Télécopieur : 819-994-1412

ATS : 819-994-0736

Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca