



Environnement
Canada

Environment
Canada



Sixième évaluation nationale des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers visées par le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*

Programme d'études de suivi des effets sur l'environnement, Direction des secteurs industriels et
Direction des activités de protection de l'environnement, Environnement Canada

Avril 2014

Canada 

ISBN : 978-0-660-21903-5

N° de cat. : En14-84/2014F-PDF

Sauf avis contraire, le contenu de ce document peut, sans frais ni autre permission, être reproduit en tout ou en partie et par quelque moyen que ce soit à des fins personnelles ou publiques, mais non à des fins commerciales.

Nous demandons aux utilisateurs :

- 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 à des fins commerciales sont interdites sans la permission écrite de l'administrateur des droits d'auteur du gouvernement du Canada, soit Travaux publics et Services gouvernementaux Canada (TPSGC). Pour obtenir 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 la ministre de l'Environnement, 2014

Also available in English

Résumé

En 1992, après de longues consultations, un nouveau cadre fédéral pour les effluents des fabriques de pâtes et papiers a été achevé. Le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* (REFPP) a été adopté le 7 mai 1992. Le REFPP régit les rejets de substances nocives par les fabriques de pâtes et papiers dans les eaux où vivent des poissons afin que la qualité de l'eau permette aux poissons de subsister et qu'elle convienne à leur habitat ainsi qu'à l'utilisation des ressources halieutiques. Parmi les nombreuses améliorations apportées, le REFPP a introduit des normes coercitives sur la qualité des effluents pour toutes les fabriques, établies d'après les normes atteignables grâce à un traitement secondaire des eaux usées; l'exigence pour toutes les fabriques de produire des effluents qui ne présentent pas de létalité aiguë pour la truite arc-en-ciel et l'exigence pour toutes les fabriques de mener un programme d'études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE).

Les exigences applicables aux études de suivi des effets sur l'environnement stipulées dans le REFPP sont les suivantes : essais de toxicité sublétales sur les effluents finaux des fabriques et études de suivi biologique afin d'évaluer les effets potentiels des effluents des fabriques sur le milieu récepteur aquatique et de rechercher les causes des effets sur l'environnement liés aux effluents des fabriques ainsi que de trouver des solutions. Les données obtenues des études de suivi des effets sur l'environnement montrent que, bien que les effets sur l'utilisation des ressources halieutiques soient faibles voire nuls, certains effluents continuent d'avoir des effets sur les poissons et leur habitat. Le profil de réponse national moyen chez le poisson était typique des conditions liées à l'enrichissement en éléments nutritifs, accompagné d'une perturbation métabolique (diminution de la taille des gonades) et le profil de réponse national pour l'habitat du poisson (communautés d'invertébrés benthiques) était typique des différents degrés d'eutrophisation (c'est-à-dire des conditions d'enrichissement en éléments nutritifs).

La plupart des fabriques ont désormais terminé leur sixième cycle de suivi et de production de rapports relativement aux effets sur l'environnement pour la période allant du 1^{er} avril 2010 au 31 mars 2013. Au cours de ce sixième cycle, toutes les fabriques en production soumises au REFPP ont dirigé des essais de toxicité sublétales sur leurs effluents finaux. Un petit nombre de fabriques ont mené des études de suivi biologique afin d'évaluer les effets sur le milieu récepteur, tandis que la plupart des fabriques ont mené des études de suivi biologique afin de rechercher les causes des effets observés lors des cycles précédents ou de trouver des solutions.

Bien que cela puisse varier d'une fabrique à une autre, dans l'ensemble, les effluents ont déclenché des réponses de toxicité sublétales dans la moitié des essais menés sur les effluents lors des cycles précédents. Au cours du cycle 6, les effluents ont déclenché des réponses de toxicité sublétales dans 63 % des essais menés sur les effluents, et un pourcentage plus élevé d'essais portant sur la reproduction des invertébrés et l'inhibition de la fécondation a indiqué des réponses de toxicité sublétales par rapport aux cycles précédents.

On a bien compris que la cause des effets liés à l'eutrophisation, pour de nombreuses fabriques, était la présence d'éléments nutritifs dans les effluents finaux des fabriques, et les éléments nutritifs associés à ces effets comprenaient le phosphore biodisponible, le phosphore total et dissous, l'azote et le carbone organique. Pour d'autres fabriques où des facteurs confondants intervenaient, les études de recherche des causes consistaient à déterminer si les effluents des

fabriques provoquaient les effets observés et leur degré de contribution aux effets observés. Les études de recherche des causes comprenant des facteurs confondants ont conclu que, dans certaines fabriques, les effets observés dans les études précédentes étaient provoqués par l'effluent de la fabrique, tandis que dans d'autres fabriques, les effets observés étaient attribuables à des causes autres que l'effluent actuel de la fabrique, comme les eaux usées municipales ou les rejets historiques (avant l'adoption du REFPP).

La majorité des études menées pour trouver des solutions pour éliminer les effets liés à l'eutrophisation comprenaient les évaluations des sources des éléments nutritifs ou l'analyse des systèmes de gestion des éléments nutritifs, ou bien les deux. La plupart des solutions mises en évidence pour éliminer les effets eutrophiques comprenaient l'amélioration du système de traitement des eaux usées mais aussi un nombre moins important de changements apportés aux procédés des fabriques. Les études de recherche sur la diminution de la taille des gonades (perturbation métabolique) ont conclu que la meilleure façon de réduire les effets sur la reproduction des poissons dans les études en laboratoire était de réduire la charge des composés organiques dans l'effluent final. Par conséquent, les solutions mises en évidence pour les deux effets les plus répandus des effluents des fabriques, l'eutrophisation et la diminution de la taille des gonades, ont une base commune : la réduction de la charge des composés organiques dans l'effluent final.

De nombreuses fabriques ont mis en œuvre les solutions déterminées dans les études de recherche. Les résultats obtenus grâce à la mise en œuvre des solutions comprenaient la diminution du phosphore résiduel, de l'azote, de la demande biochimique en oxygène (DBO) et des matières solides totales en suspension dans l'effluent final, et dans certaines études de laboratoire, l'effet sur la production d'œufs disparaissait du fait de la diminution de la demande biochimique en oxygène dans l'effluent.

Plus un nombre important de fabriques décideront de mettre en œuvre les solutions, plus on disposera de renseignements sur les résultats pouvant être obtenus. Étant donné que les fabriques qui ont mis en œuvre les solutions mènent des études de suivi biologique afin de réévaluer les effets sur le milieu récepteur, il sera possible d'évaluer l'efficacité des solutions mises en évidence pour réduire les effets des effluents.

Au cours du temps, les fabriques réévalueront les effets et, en fonction des décisions prises en matière de mise en œuvre des solutions, l'incidence générale de l'effluent de la fabrique sur le milieu récepteur aquatique pourrait être bien différente de celle observée auparavant.

Table des matières

Résumé	iii
1. Introduction	1
2. Activité de suivi des effets sur l'environnement.....	2
3. Résultats obtenus des études de suivi des effets sur l'environnement	5
3.1 Résultats obtenus des essais de toxicité sublétales	5
3.2 Études de suivi biologique menées pour évaluer les effets au cours du cycle 6	8
3.2.1 Effet sur les poissons et l'habitat des poissons (communautés d'invertébrés benthiques).....	9
3.2.2 Effets sur les tissus de poissons	11
3.3 Étude de recherche pour les effets confirmés.....	11
3.3.1 Études de recherche des causes des effets liés à l'eutrophisation.....	12
3.3.2 Études de recherche de solutions pour les effets liés à l'eutrophisation	15
3.3.3 Études de recherche pour la diminution de la taille des gonades chez les poissons	18
3.3.4 Études de recherche pour les effets sur les tissus de poissons	21
4. Solutions mises en œuvre et résultats obtenus.....	22
5. Conclusions	24
6. Références	27
7. Annexe	28

Liste des figures

Figure 2.1 Études de suivi biologique menées par cycle	3
Figure 2.2 Études de suivi biologique menées par 48 fabriques au cours du cycle 6.....	5
Figure 3.1 Toxicité sublétales des effluents finaux des fabriques de pâtes et papiers dans 77 fabriques au cours du cycle 6.....	6
Figure 3.2 Pourcentage des essais par cycle indiquant une absence de toxicité sublétales à une concentration de 100 % de l'effluent.....	7
Figure 3.3 Pourcentage des essais par espèce et par cycle indiquant une absence de toxicité sublétales à une concentration de 100 % de l'effluent.....	8

Liste des tableaux

Tableau 3.1 Résumé des études de suivi biologique menées pour évaluer les effets sur les poissons ou l'habitat des poissons (communautés d'invertébrés benthiques) au cours du cycle 6	10
Tableau 3.2 Nombre et type d'études de recherche menées par cycle.....	12

1. Introduction

En 1992, après de longues consultations, un nouveau cadre fédéral pour les effluents des fabriques de pâtes et papiers a été achevé. Le *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* (REFPP) de 1992 a été adopté le 7 mai 1992. Le REFPP régit les rejets de substances nocives dans les eaux où vivent des poissons par les fabriques de pâtes et papiers, afin que la qualité de l'eau permette aux poissons de subsister et qu'elle convienne à leur habitat et à l'utilisation des ressources halieutiques. Parmi les nombreuses améliorations apportées, le REFPP a introduit des normes coercitives sur la qualité des effluents pour toutes les fabriques, établies d'après les normes atteignables grâce à un traitement secondaire des eaux usées; l'exigence pour toutes les fabriques de produire des effluents qui ne présentent pas de létalité aiguë pour la truite arc-en-ciel et l'exigence pour toutes les fabriques de mener un programme d'études de suivi des effets sur l'environnement (ESEE).

Les études de suivi des effets sur l'environnement sont un outil de mesure du rendement à vocation scientifique utilisé pour recueillir les renseignements des fabriques et permettre d'évaluer l'efficacité du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* en matière d'atteinte de ses objectifs. Conçues pour détecter et mesurer les changements dans les écosystèmes aquatiques (c.-à-d. les milieux récepteurs), les études de suivi des effets sur l'environnement vont au-delà de la simple mesure des produits chimiques de l'effluent final; elles examinent l'efficacité des mesures de protection de l'environnement directement dans les écosystèmes aquatiques. Les effets à long terme sont évalués au cours d'étapes cycliques de suivi et d'interprétation qui sont planifiées 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.

Les exigences applicables aux ÉSEE¹ stipulées dans le REFPP sont les suivantes : essais de toxicité sublétales sur les effluents finaux des fabriques, études de suivi biologique effectuées dans le milieu récepteur et recherche des causes des effets confirmés sur l'environnement liés aux effluents des fabriques, ainsi que la recherche de solutions² qui sont associées aux causes.

Depuis la mise en œuvre des exigences applicables aux études de suivi des effets sur l'environnement en 1992, les données obtenues des études de suivi des effets sur l'environnement ont été analysées³ afin de distinguer des tendances à l'échelle nationale. Les données montrent que, bien que les effets sur l'utilisation des ressources halieutiques soient faibles voire nuls,

¹ Pour connaître les exigences réglementaires en matière d'études de suivi des effets sur l'environnement, consultez les articles 28 à 30 et l'annexe IV.1 du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*, à l'adresse Web suivante : <http://laws-lois.justice.gc.ca/fra/reglements/DORS-92-269/index.html>.

² Pour obtenir de plus amples renseignements sur les études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers, consultez le *Guide technique pour l'Étude de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) des pâtes et papiers (2010)*.

³ Les évaluations nationales précédentes des données des études de suivi des effets sur l'environnement des fabriques de pâtes et papiers sont disponibles sur le site Web des études de suivi des effets sur l'environnement <http://www.ec.gc.ca/esee-eem/default.asp?lang=Fr&n=F55EEA87-1>, et sont répertoriées dans la partie Références du présent rapport.

certaines effluents continuent d'avoir des effets sur les poissons et leur habitat. À l'échelle nationale, l'effet le plus répandu sur les poissons est lié à l'enrichissement en éléments nutritifs (du milieu récepteur), parfois combiné à la diminution de la taille des gonades des poissons (avec une perturbation possible de la reproduction). 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. Pour l'habitat des poissons (communautés d'invertébrés benthiques), l'effet le plus répandu est lié à l'eutrophisation du fait de l'enrichissement en éléments nutritifs, notamment l'augmentation de la densité des invertébrés, et les modifications de la structure des communautés et de la richesse taxonomique (c.-à-d. la diversité des espèces ou le nombre d'espèces).

Le présent document vise à faire rapport des résultats obtenus des études de suivi biologique des effets sur l'environnement et des essais de toxicité sublétales menés au cours du cycle 6 (du 1^{er} avril 2010 au 31 mars 2013) et à résumer les résultats de toutes les études de recherche menées au cours des cycles 4, 5 et 6 (du 1^{er} avril 2004 au 31 mars 2013) afin de déterminer les causes des effets sur l'environnement des effluents des fabriques de pâtes et papiers ainsi que de trouver des solutions.

2. Activité de suivi des effets sur l'environnement

Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6
de 1992 à 1996	de 1996 à 2000	de 2000 à 2004	de 2004 à 2007	de 2007 à 2010	de 2010 à 2013

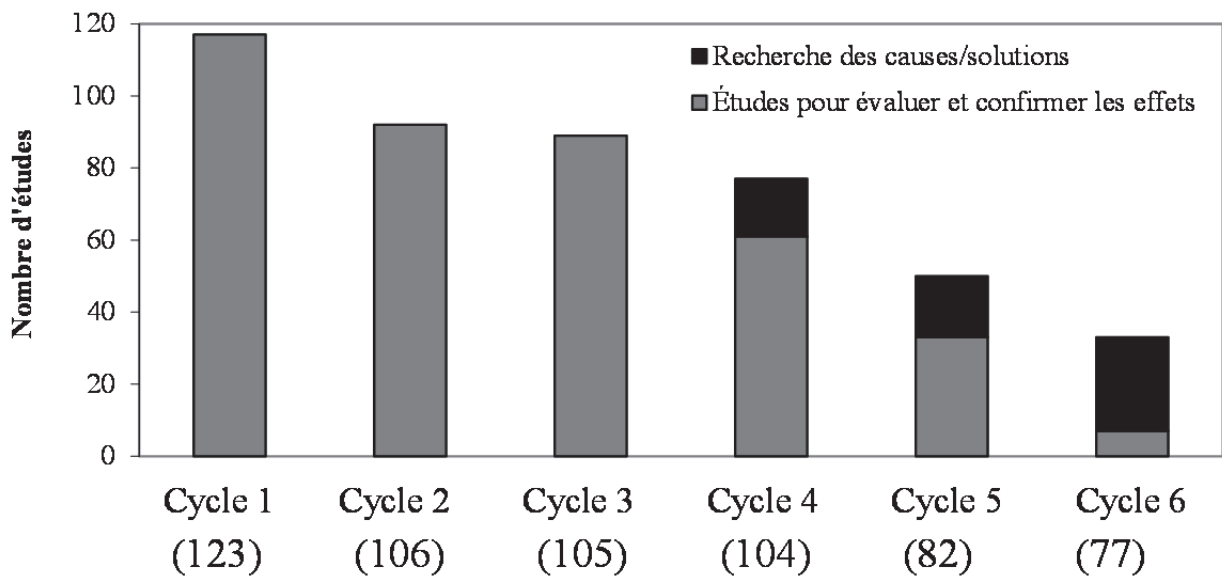
À quelques exceptions près, les fabriques ont terminé leur sixième cycle de suivi et de production de rapports relativement aux effets sur l'environnement. La section ci-dessous résume l'activité de suivi des effets sur l'environnement entreprise dans chaque cycle et décrit les types d'études de suivi biologique menées au cours du cycle 6.

Au cours du cycle 1, des essais de toxicité sublétales sur les effluents finaux ont été effectués 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. Des études de suivi biologique ont été menées une fois par cycle 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'effluent. Dans plusieurs cas, les fabriques ont mené des études de suivi biologique conjointement, y compris des études de recherche.

Les études de suivi biologique menées au cours du cycle 1 n'étaient pas suffisamment complètes pour évaluer les effets, mais elles ont été utilisées pour établir des résultats initiaux et élaborer une orientation technique afin d'améliorer les futures études. Les études menées au cours des cycles 2 et 3 ont été utilisées pour évaluer et confirmer les effets observés dans le milieu récepteur. Au cours du cycle 4, la plupart des fabriques ont continué le suivi biologique pour évaluer et confirmer les effets, tandis que certaines des fabriques ayant obtenu des effets confirmés au cours du cycle 3 ont mené des études de suivi biologique pour examiner l'ampleur, la portée et la cause de ces effets confirmés.

Au cours du cycle 5, la plupart des fabriques ont continué les études de suivi biologique pour évaluer et confirmer les effets, et les autres fabriques ont soit continué de rechercher les causes, soit commencé à les rechercher, tandis que certaines fabriques ont mené des études de recherche de solutions. Un petit nombre de fabriques au cours du cycle 6 ont mené des études pour évaluer et confirmer les effets, tandis que la plupart des fabriques ont mené des études pour en rechercher les causes ou trouver des solutions. Le nombre total d'études de suivi biologique menées par cycle a diminué car, 1) au cours des cycles 4 et 5, un certain nombre de fabriques ont cessé leur production et, 2) au cours du cycle 6, bien plus de fabriques ont participé à des études conjointes (figure 2.1).

Figure 2.1 Études de suivi biologique menées par cycle



Remarque : Le nombre total de fabriques en production est indiqué entre parenthèses.

Les 77 fabriques de pâtes et papiers en production et soumises au *Règlement sur les effluents de pâtes et papiers* pendant le cycle 6 ont mené des essais de toxicité sublétales sur leurs effluents finaux et, si nécessaire, des études de suivi biologique soit pour évaluer les effets ou soit pour examiner les effets confirmés.

Sur les 77 fabriques, 29 n'ont pas eu à mener des études de suivi biologique en vertu du Règlement : 16 en raison de la faible concentration de l'effluent dans le milieu récepteur, trois en raison de la confirmation de l'absence d'effet et huit en raison de la mise en évidence de solutions dans le cadre de l'étude précédente⁴. Deux fabriques mènent des études de suivi selon un calendrier différé en raison des fermetures passées pendant plus de huit mois. Les fabriques restantes (48) ont mené 33 études de suivi biologique⁵ : sept études visaient à évaluer les effets (études standard ou de rechange sur les poissons, les tissus de poissons ou les communautés d'invertébrés benthiques) et 26 études visaient à rechercher les causes des effets confirmés ou à trouver des solutions (figure 2.2).

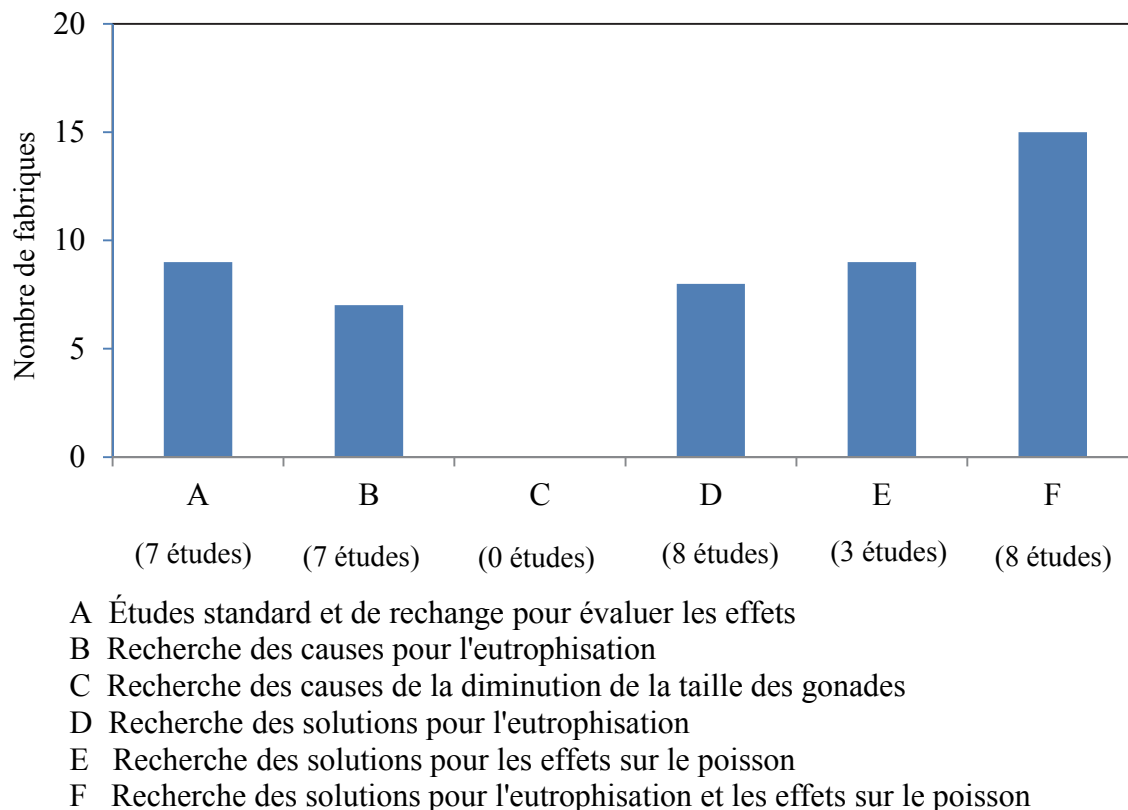
Les fabriques qui ont déterminé les causes des effets confirmés au cours du cycle 5, ont ensuite mené des recherches au cours du cycle 6 pour trouver des solutions visant à éliminer ces effets. Dans certains cas, les fabriques ont mené des études conjointement. Le projet national de recherche des causes – Cycle 6 (étude nationale⁶), dont le but consistait à rechercher les causes de la diminution de la taille des gonades chez les poissons et à mettre en évidence des solutions, comprenait 20 fabriques. Un aperçu de toutes les études de recherche menées à ce jour (cycles 4, 5 et 6) pour déterminer les causes des effets confirmés et identifier des solutions est présenté dans la section 3.3.

⁴ Des études de suivi biologique sont menées une fois par cycle par toutes les fabriques soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* qui sont en production et pour lesquelles la concentration de l'effluent est 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 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. Les fabriques qui confirment l'absence d'effet ou qui trouvent des solutions pour les effets confirmés doivent présenter leur prochain rapport dans six ans.

⁵ Plusieurs fabriques ont mené des études conjointement avec d'autres fabriques présentant des effets similaires.

⁶ L'étude nationale est une initiative de collaboration multi-cycle 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 et les solutions à ces causes.

Figure 2.2 Études de suivi biologique menées par 48 fabriques au cours du cycle 6



3. Résultats obtenus des études de suivi des effets sur l'environnement

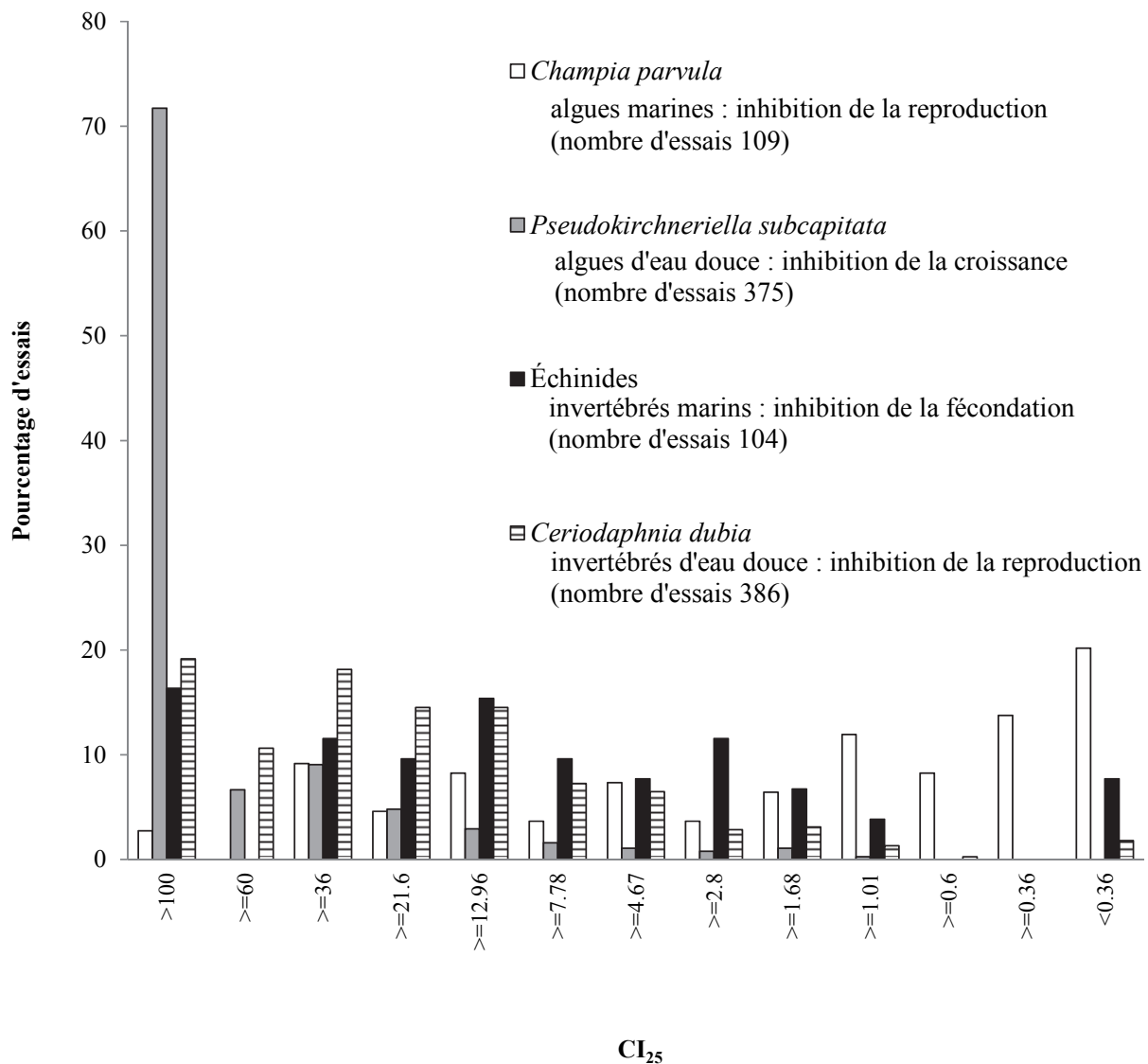
3.1 Résultats obtenus des essais de toxicité sublétales

Les fabriques sont tenues de réaliser des essais de toxicité sublétales sur les effluents finaux deux fois par année civile. Les essais sont menés de manière à évaluer les effets non létaux 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) 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. CI₂₅ > 100 %).

Au cours du cycle 6, les 77 fabriques en production soumises au *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* ont mené des essais de toxicité sublétales sur leur effluent final. Aucun essai n'a été mené sur les espèces de poissons, car l'exigence qui consiste à mener des essais sur les poissons a été supprimée à la suite de la modification du *Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers* en 2008. Les essais concernant l'inhibition de la croissance au

cours du cycle 6 menés sur les algues d'eau douce font état d'une absence de toxicité sublétales dans 72 % des essais; toutefois, dans de nombreux essais, on a constaté que l'effluent stimule la croissance d'algues, indiquant que l'effluent pourrait être éventuellement une source d'enrichissement en éléments nutritifs dans le milieu récepteur. Les essais concernant l'inhibition de la reproduction et de la fécondation au cours du cycle 6 menés sur les invertébrés et les algues marines font état d'une absence de toxicité sublétales dans moins de 20 % des essais (figure 3.1).

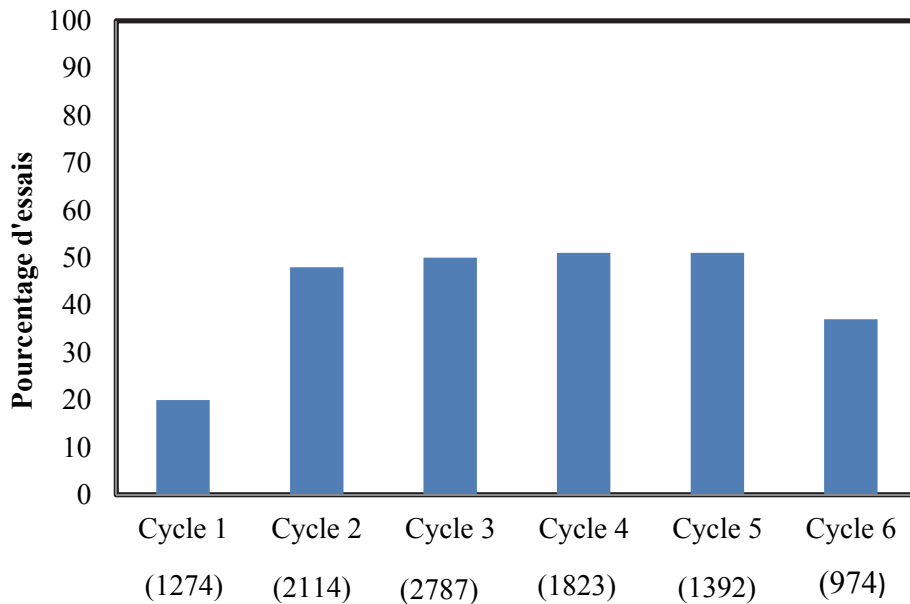
Figure 3.1 Toxicité sublétales des effluents finaux des fabriques de pâtes et papiers dans 77 fabriques au cours du cycle 6



Les résultats précédents ont indiqué que la toxicité sublétales des effluents diminuait entre le cycle 1 et le cycle 2 (figure 3.2). L'amélioration de la qualité des effluents à la suite du cycle 1 a été attribuée à l'amélioration du traitement des effluents suite à la mise en œuvre du *Règlement*

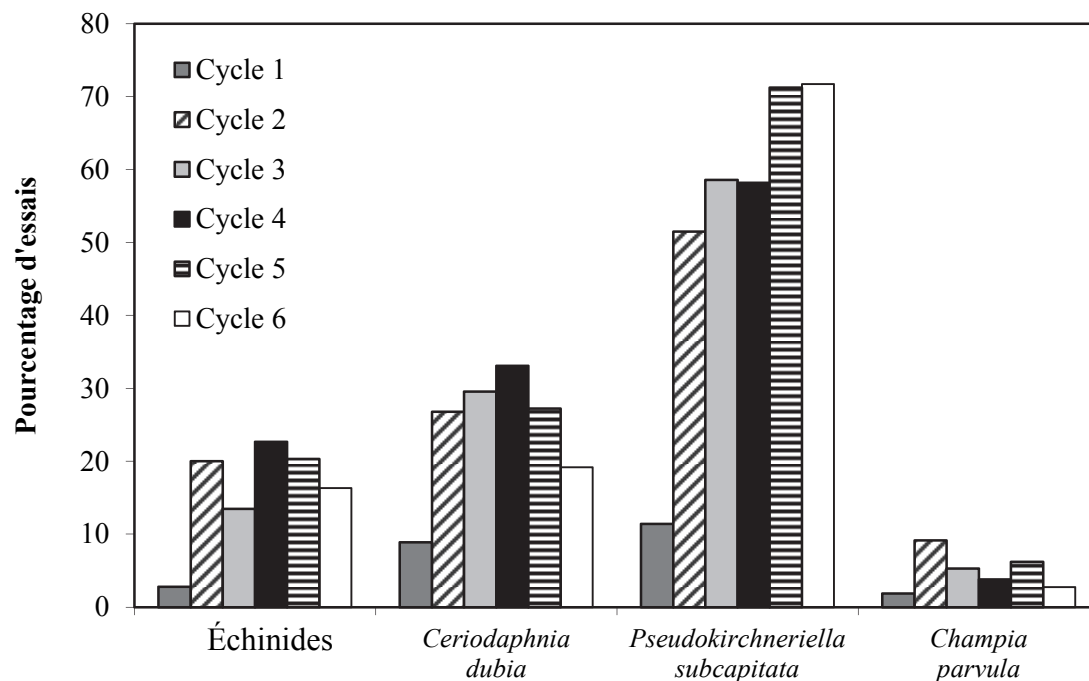
sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers. Bien que cela puisse varier d'une fabrique à une autre, dans l'ensemble, les effluents ont continué de déclencher des réponses de toxicité sublétales dans la moitié des essais menés sur les effluents au cours des cycles 2 à 5. Au cours du cycle 6, les effluents ont déclenché des réponses de toxicité sublétales dans 63 % des essais menés sur les effluents. Une partie de l'augmentation de la toxicité sublétales générale pouvait être attribuée à l'interruption des essais menés sur les espèces de poissons (plus de 80 % des essais de toxicité sublétales menés sur les espèces de poissons au cours du cycle 5 faisaient état d'une absence de toxicité sublétales), mais une augmentation de la toxicité générale a également été observée dans les essais menés sur *Ceriodaphnia dubia* (un invertébré d'eau douce) et les échinides (invertébrés marins) au cours du cycle 6 (figure 3.3).

Figure 3.2 Pourcentage des essais par cycle indiquant une absence de toxicité sublétales à une concentration de 100 % de l'effluent



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

Figure 3.3 Pourcentage des essais par espèce et par cycle indiquant une absence de toxicité sublétales à une concentration de 100 % de l'effluent



Espèces	Nombre d'essais menés par espèce et par cycle					
	Cycle 1	Cycle 2	Cycle 3	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6
Échinides	108	175	215	150	128	104
<i>Ceriodaphnia dubia</i>	361	514	707	471	418	386
<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i>	236	532	703	481	413	375
<i>Champia parvula</i>	106	175	227	158	129	109

3.2 Études de suivi biologique menées pour évaluer les effets au cours du cycle 6

Les études de suivi biologique sont menées dans le but d'évaluer les effets sous trois angles : la santé des poissons, l'habitat des poissons et la possibilité d'utiliser les ressources halieutiques. D'une manière générale, si les données de suivi biologique recueillies dans une zone exposée aux effluents d'une fabrique sont statistiquement différentes des données recueillies dans une zone similaire non exposée aux effluents d'une fabrique, cela signifie que les effluents ont un effet sur la santé et sur l'habitat des poissons. En ce qui concerne la possibilité d'utiliser les ressources halieutiques, les données relatives aux tissus des poissons issus de la zone exposée sont comparées à un seuil établi de concentrations de dioxines et furanes chlorés dans les tissus.

Onze fabriques ont mené neuf⁷ études de suivi biologique pour évaluer les effets sur les poissons et l'habitat des poissons au cours du cycle 6 (table 3.1). Les fabriques ont mené ces études pour différents motifs. Sept fabriques ont réévalué les effets après une période de surveillance réduite, en raison de la confirmation préalable d'une absence d'effet lié aux effluents. Deux fabriques ont évalué les effets dans le cadre d'une étude de recherche des causes afin de déterminer si les effets confirmés préalablement étaient liés aux effluents de la fabrique ou à d'autres sources de polluants à proximité et deux fabriques ont continué d'évaluer les effets non confirmés dans les études précédentes. En plus des neuf études mentionnées ci-dessus, deux fabriques ont mené des études pour évaluer les effets sur les tissus de poissons.

3.2.1 Effet sur les poissons et l'habitat des poissons (communautés d'invertébrés benthiques)

Pour évaluer la santé des poissons, six études sur les populations de poissons ont été menées : trois études létales standard (une sur les moules sauvages) et trois études de rechange (une non létale, une sur les bivalves en cage et une suivant les déplacements du saumon rouge). Toutes les études sur les populations de poissons, sauf une, ont observé un effet sur au moins un des principaux critères, et le seuil de certains des effets observés était supérieur au seuil d'effet critique⁸ (SEC).

Pour évaluer l'habitat des poissons, sept études sur les communautés d'invertébrés benthiques ont été menées : trois utilisant une conception contrôle-impact et quatre utilisant une conception par gradient. Toutes les études sur les communautés d'invertébrés benthiques, sauf une, ont observé un effet sur au moins une des principales variables et dans certains cas l'ampleur des effets dépassait le SEC.

Les conclusions des études variaient (tableau 3.1). Certaines études ont conclu que, après une période de surveillance réduite, des effets ont été observés dans le milieu récepteur; la prochaine étape consistera à confirmer ces résultats. D'autres études ont conclu que les effets confirmés dans les études précédentes ont été provoqués par les effluents des fabriques; la prochaine étape consistera à mener des études pour trouver des solutions. Quelques études ont déterminé que les effets observés dans la zone exposée étaient attribuables à des causes autres que les effluents des fabriques (c.-à-d. les eaux usées municipales).

⁷ Trois fabriques ont mené une étude conjointe de suivi biologique.

⁸ Un seuil d'effet critique (SEC) constitue un seuil au-delà duquel un effet peut indiquer un risque plus élevé pour l'environnement.

Tableau 3.1 Résumé des études de suivi biologique menées pour évaluer les effets sur les poissons ou l'habitat des poissons (communautés d'invertébrés benthiques) au cours du cycle 6

Étude	Objet de l'étude	Composant	Modèle d'étude	Effets observés au cours du cycle 6	Conclusions de l'étude
1	Réévaluation/confirmation des effets	Communautés d'invertébrés benthiques	conception par gradient	Effet sur l'indice de Bray-Curtis	Effets confirmés dans la zone exposée
		Poissons	standard	Effets sur les gonades, le foie, le poids selon l'âge, la santé et l'âge	
2	Réévaluation des effets	Communautés d'invertébrés benthiques	standard	Effet sur l'indice de Bray-Curtis	Effets observés dans la zone exposée. Réévaluer et confirmer les effets au cours du cycle suivant.
		Poissons	standard	Effet sur les gonades, le foie, la santé et l'âge	
3	Réévaluation des effets	Communautés d'invertébrés benthiques	radiale conception par gradient	Effet sur la richesse taxonomique et effet sur l'indice de Bray-Curtis supérieurs au SEC	Effets observés dans la zone exposée. Réévaluer et confirmer les effets au cours du cycle suivant.
4	Évaluation des effets	Communautés d'invertébrés benthiques	standard	Effets sur la richesse taxonomique, la densité, la régularité et l'indice de Bray-Curtis supérieurs au SEC	Effets observés sur les communautés d'invertébrés benthiques dans la zone exposée liés à l'effluent de la fabrique. Aucun effet mesurable de l'effluent de la fabrique sur les poissons; effets observés sur les poissons liés à l'effluent de l'usine voisine de traitement des eaux usées.
		Poissons	non létale	Aucun effet mesurable de l'effluent de la fabrique sur les poissons	
5	Étude de recherche des causes	Communautés d'invertébrés benthiques	conception par gradient	Effets sur la densité, la richesse taxonomique et l'indice de Bray-Curtis (supérieurs au SEC)	Effets observés sur les communautés d'invertébrés benthiques dans la zone exposée; liés aux rejets historiques de la fabrique. Effets observés sur les poissons dans la zone exposée non attribués à l'effluent de la fabrique.
		Poissons	standard, moules bleues sauvages	Effets sur la santé et la taille selon l'âge	
6	Réévaluation des effets; étude conjointe comprenant trois fabriques	Communautés d'invertébrés benthiques	étude standard et approche des conditions de référence	Aucun effet sur les communautés d'invertébrés benthiques	Aucun effet confirmé sur les communautés d'invertébrés benthiques dans la zone exposée
7	Réévaluation des effets	Communautés d'invertébrés benthiques	conception par gradient	Effet sur la densité et un effet sur l'indice de Bray-Curtis supérieur au SEC	Effets sur les communautés d'invertébrés benthiques dans la zone exposée attribués aux répercussions historiques et non à l'effluent actuel de la fabrique
8	Évaluation des effets	Poissons	étude de rechange sur les poissons (du fait des conditions propres au site) évaluant les déplacements du saumon rouge dans la zone exposée	Évaluation de rechange (non fondée sur les critères des ÉSEE) Critères des ÉSEE non mesurés du fait des conditions propres au site	Une étude a indiqué des améliorations des taux d'oxygène dissous près du fond et que les répercussions historiques de l'effluent ne posent plus de risque pour le saumon rouge dans cette zone
9	Étude de recherche des causes	Poissons	étude sur les bivalves en cage	Effets sur la taille selon l'âge, le poids et la taille des gonades supérieurs au SCE	Les effets confirmés dans les études précédentes sont liés à l'effluent de la fabrique

3.2.2 Effets sur les tissus de poissons

Un effet sur les tissus de poissons signifie que les concentrations de dioxines et de furanes chlorés, exprimées selon les équivalents toxiques du tétrachloro-2,3,7,8 dibenzo-para-dioxine, sont supérieures à 15 picogrammes par gramme (pg/g) selon le poids humide dans les tissus musculaires ou à 30 pg/g selon le poids humide dans le foie ou dans l'hépatopancréas des poissons pris dans la zone exposée. Au cours du cycle 6, deux fabriques côtières ont mené des études pour évaluer les effets sur les tissus de poissons; les deux études ont observé un effet sur les tissus de poissons.

Une étude comprenait la prise de crabes dormeurs dans huit points d'échantillonnage situés à des distances différentes du point de rejet de la fabrique et a déterminé que les concentrations en équivalents toxiques ne variaient pas de façon considérable selon la distance de la fabrique. Les deux valeurs les plus élevées ont été enregistrées aux deux points d'échantillonnage les plus éloignés de la fabrique. Les valeurs en équivalents toxiques ont continué de baisser à certains points, tandis que les valeurs à d'autres points semblaient s'être stabilisées à des niveaux minimaux record. Les concentrations totales en équivalents toxiques dans les hépatopancréas des crabes oscillaient entre 49,9 pg/g et 10,7 pg/g. Certaines de ces concentrations représentaient les valeurs les plus basses enregistrées depuis le début de la surveillance, tandis que d'autres concentrations se trouvaient parmi les plus faibles enregistrées ces dernières années et étaient considérablement plus faibles que les concentrations rapportées du début au milieu des années 1990 (lorsque les concentrations avaient atteint le niveau élevé de 186 pg/g).

L'autre étude a indiqué que les concentrations de dioxines et de furanes semblaient révéler une tendance à la baisse chez les crabes dormeurs et les chiens de mer pris dans la zone exposée. Les valeurs totales de dioxines et de furanes en équivalents toxiques dans les échantillons d'hépatopancréas des crabes dormeurs de trois des huit points d'échantillonnage et dans le foie des chiens de mer dépassaient le seuil d'effet (30,0 pg/g foie) mais aucun dépassement n'a été observé dans les tissus musculaires des chiens de mer.

3.3 Étude de recherche pour les effets confirmés

Pour confirmer que les effets observés dans le milieu récepteur ne sont pas simplement le résultat d'une étude ponctuelle, les études de suivi biologique menées pour évaluer les effets sont répétées au cours de cycles consécutifs. 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.

Pour examiner les effets confirmés, les responsables de fabrique 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. Pour décrire l'ampleur et la portée des effets confirmés, les fabriques effectuent un échantillonnage supplémentaire en aval de la zone exposée. Les fabriques qui avaient inclus cet échantillonnage supplémentaire parallèlement au suivi réalisé pour évaluer les effets 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 n'avaient pas encore réalisé de suivi supplémentaire devaient décrire l'ampleur et la portée de leurs effets confirmés avant le début de leurs études de recherche des causes. Le but d'une étude de recherche des causes est de déterminer la cause des effets observés.

Le but d'une étude de recherche de solutions est de déterminer les solutions possibles pour éliminer les effets observés.

Le projet de réglementation intelligente⁹ a donné la priorité à la recherche des causes et de solutions pour les deux effets les plus répandus à l'échelle nationale, soit l'eutrophisation (enrichissement en éléments nutritifs) et la diminution de la taille des gonades chez les poissons. En 2008, l'Association des produits forestiers du Canada (APFC) a élaboré un guide intitulé *Meilleures pratiques de gestion dans l'utilisation des nutriments pour le traitement des effluents*¹⁰ pour aider les fabriques à examiner et à réduire les effets liés à l'eutrophisation ainsi que 'un projet national de recherche des causes'¹¹ (étude nationale) pour examiner les causes de la diminution de la taille des gonades chez les poissons a été mis en œuvre. Jusqu'au cycle, 66 fabriques ont mené 60 études de recherche (certaines études ont été menées conjointement par deux fabriques ou plus). Le tableau 3.2 présente le nombre et le type d'études de recherche réalisées au cours des cycles 4, 5 et 6. Les sections suivantes, ainsi que le tableau A-1 dans l'annexe, résument les méthodes d'étude utilisées et les résultats obtenus.

Tableau 3.2 Nombre et type d'études de recherche menées par cycle

Type d'étude	Cycle 4	Cycle 5	Cycle 6	Total
Recherche des causes				
Eutrophisation	14(16)	6(6)	7(7)	27(29)
Diminution de la taille des gonades chez les poissons	2(12)	2(11)	-	4(23)
Recherche de solutions				
Eutrophisation	-	9(11)	8(8)	17(19)
Effets sur les poissons, y compris la taille des gonades	-	-	3(9)	3(9)
Eutrophisation et effets sur les poissons, y compris la taille des gonades	-	-	8(15)	8(15)

Remarque : Le nombre de fabriques participant aux études est indiqué entre parenthèses.

3.3.1 Études de recherche des causes des effets liés à l'eutrophisation

Études menées pour les effets eutrophiques

Pour de nombreuses fabriques, on a bien compris que la cause des effets liés à l'eutrophisation était la présence d'éléments nutritifs dans les effluents finaux des fabriques. Dans ces cas, les

⁹ Le rapport du projet de réglementation intelligente concernant le suivi des effets sur l'environnement et la réponse d'Environnement Canada au rapport se trouvent à l'adresse sont disponibles sur demande par courriel à EEM-ESEE@ec.gc.ca

¹⁰ Accessible sur le site Web <http://www.fpac.ca/index.php/fr/publications-viewer/488/>.

¹¹ 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. Huit fabriques ont participé à cette étude de recherche conjointe au cours des cycles 4 et 5, et 20 fabriques y ont participé au cours du cycle 6.

fabriques ont simplement indiqué la cause et se sont directement mises à rechercher des solutions possibles pour éliminer les effets. Pour d'autres fabriques où des facteurs confondants intervenaient, les études de recherche des causes consistaient à déterminer si les effluents des fabriques provoquaient les effets observés et leur degré de contribution aux effets observés. De nombreuses études ont été menées pour rechercher les causes des effets liés à l'eutrophisation, y compris les suivantes :

- Les études sur les populations de poissons et les communautés d'invertébrés benthiques ont été utilisées pour examiner le lien entre les effets eutrophiques observés et les effluents des fabriques. Ces études visaient à prélever des poissons ou des invertébrés à proximité des effluents des fabriques, ainsi que près d'autres rejets combinés, comme les eaux usées municipales. Dans d'autres cas, les stations d'échantillonnage étaient placées de sorte à faire la différence entre les effets provoqués par les effluents actuels des fabriques et ceux provoqués par les dépôts historiques, comme les couches d'écorces ou de fibres. Certaines études sur les poissons ont utilisé des bivalves en cage sur le site d'échantillonnage pour déterminer la contribution relative de chaque effluent aux effets observés. Une étude, en plus de l'étude sur les poissons, comprenait des analyses des contenus stomacaux et histopathologiques chez les poissons.
- Les paramètres concernant la qualité de l'eau ou des sédiments ont été utilisés pour examiner les effets, soit seuls ou conjointement avec les études sur les populations de poissons et les communautés d'invertébrés benthiques. Les paramètres ont été mesurés pour évaluer les éléments nutritifs présents dans le milieu récepteur et y compris le phosphore total (PT), le nitrite, l'azote total, l'azote total Kjeldahl, l'ammoniac, le carbone organique total (COT), les sédiments en suspension et les matières dissoutes totales. Pour ce qui est des sédiments, les paramètres comprenaient les sulfures, le rapport carbone-azote, les bactéries et le potentiel d'oxydoréduction des sédiments. La répartition de la salinité, de la température et de l'oxygène dissous a été étudiée et des pièges à sédiments à court terme ont été employés pour mesurer la masse totale et le contenu organique.
- Les isotopes stables ont été utilisés pour suivre les sources de matières organiques dans les habitats des communautés d'invertébrés benthiques et les organismes ainsi que les poissons. D'autres études ont évalué la présence des isotopes stables dans les carottes de sédiments ou utilisé les isotopes pour déterminer les taux et les délais de sédimentation.
- Les études sur le périphyton ont comparé les valeurs de la biomasse par rapport aux objectifs relatifs à la qualité de l'eau ou ont comparé les taxonomies entre les différents sites d'échantillonnage. Une étude a examiné l'augmentation du périphyton dans les substrats artificiels diffusant des éléments nutritifs.
- Les paramètres des effluents ont été étudiés afin de déterminer les apports en éléments nutritifs des effluents des fabriques dans le milieu récepteur. Certains des paramètres mesurés comprenaient les matières solides totales en suspension, les composés sulfurés, le phosphore total, le nitrite, le nitrate, l'azote Kjeldahl, la demande biochimique en oxygène (DBO), la demande chimique en oxygène (DCO), le carbone organique dissous (COD) et le COT. Dans certaines études, les paramètres des effluents ont été évalués avant et après l'application des changements concernant les éléments nutritifs au système de traitement des eaux usées.
- Des techniques de modélisation de la qualité de l'eau ont été utilisées afin de calculer les réductions des éléments nutritifs présents dans les effluents des fabriques requises pour

produire les concentrations recommandées d'éléments nutritifs dans le milieu récepteur; ou une étude de la capacité d'autoépuration a été menée afin de déterminer la mesure selon laquelle le phosphore présent dans les effluents des fabriques peut contribuer aux effets d'enrichissement.

- Des méthodes ont été employées afin d'isoler les effets provoqués par les effluents des fabriques, par exemple :
 - Une étude sur le mésocosme, comprenant du périphyton et des invertébrés épibenthiques exposés à diverses concentrations d'effluent, a été utilisée afin de déterminer les effets provoqués par les effluents.
 - Une étude de toxicité sublétales en laboratoire utilisant plusieurs concentrations et fractions d'effluent a été menée sur une espèce d'invertébrés benthiques¹² afin de déterminer la contribution des effluents aux effets de toxicité observés dans le milieu récepteur.
 - Une expérience sur le microcosme comprenant de multiples expositions concurrentes à différentes concentrations d'effluent a été utilisée pour évaluer les effets propres aux fabriques, indépendants des influences historiques et combinées.
 - Des évaluations visuelles des effluents des fabriques et des autres sites d'exposition aux sources ponctuelles ont été menées à l'aide de véhicules sous-marins contrôlés à distance. On a délimité les couches de fibres historiques afin de déterminer leur contribution relative à l'enrichissement organique. Des études sur les communautés d'invertébrés benthiques utilisant des dispositifs de transplantation remplis de sédiments de la surface balayée ou de substrats de pierre ont été employées pour rechercher les causes des effets et les contributions relatives aux effets.
- La réévaluation des données biologiques des études de suivi des effets sur l'environnement et des autres renseignements a été utilisée pour déterminer les causes des effets non prioritaires observés¹³.

Causes déterminées pour les effets eutrophiques

La plupart des études de recherche des causes des effets liés à l'eutrophisation ont conclu qu'une certaine forme d'enrichissement en éléments nutritifs dans les effluents des fabriques provoquait les effets observés. Certains des éléments nutritifs mis en évidence comprenaient le phosphore biodisponible, les biosolides des effluents, le phosphore total et dissous, l'azote et le carbone organique.

Certaines études ont déterminé la contribution relative de la fabrique et des autres influences combinées à proximité aux effets observés. Une étude sur le mésocosme a déterminé que les effluents des fabriques pouvaient avoir un effet sur la qualité de l'eau et les communautés benthiques dans le milieu récepteur. Des études sur les communautés benthiques ont confirmé que les effets observés étaient fortement liés à l'exposition aux effluents des fabriques et non au substrat. Une expérience sur le microcosme a conclu que les effluents des fabriques avaient un effet sur les sédiments et les communautés benthiques à des concentrations importantes. Des

¹² L'espèce utilisée était *Hyalella azteca* et l'essai de toxicité sublétales utilisé était SPE 1/RM/33.

¹³ Voir la section 1.5.3 du document intitulé *Guide technique pour l'Étude de suivi des effets sur l'environnement (ESEE) des pâtes et papiers* pour obtenir une description des effets jugés prioritaires et non prioritaires.

essais de toxicité sublétales en laboratoire ont déterminé que les matières solides dans les effluents des fabriques peuvent contribuer aux effets d'étouffement ou de toxicité observés mais les résultats observés pour les fractions d'effluent ne contenant pas de matières solides ont suggéré l'existence d'autres causes de toxicité en plus des effets potentiels attribués aux matières solides elles-mêmes.

D'autres études de recherche des causes ont conclu que les effluents actuels des fabriques n'étaient pas la principale cause des effets eutrophiques. Au lieu de cela, les influences liées à la décomposition des couches de fibres historiques, les différences d'habitat et les rejets des eaux usées municipales ont été identifiés comme étant les causes des effets observés.

De plus, deux études de recherche des causes des effets eutrophiques chez les poissons n'ont pas déterminé de cause pour les effets observés, mais ont conclu que les recherches à venir permettraient peut-être de déterminer avec plus de précision les agents responsables dans les effluents des fabriques qui ont un effet sur les réserves d'énergie des poissons.

3.3.2 Études de recherche de solutions pour les effets liés à l'eutrophisation

Études de recherche de solutions menées pour les effets eutrophiques

La plupart des études menées pour trouver des solutions permettant d'éliminer les effets liés à l'eutrophisation comprenaient soit les évaluations des sources des éléments nutritifs ou soit l'analyse des systèmes de gestion des éléments nutritifs, ou bien les deux.

Les études sur les sources des éléments nutritifs comprenaient l'évaluation des données concernant les activités actuelles et passées des fabriques afin de déterminer les principaux facteurs contribuant à l'apparition d'éléments nutritifs au cours des procédés des fabriques. À l'aide des données concernant les procédés des fabriques et des études entreprises dans les fabriques, on a pu déterminer les concentrations et les variations des formes de phosphore et d'azote dans les cours d'eau et les effluents des fabriques. Un certain nombre d'études ont également analysé la contribution des autres sources en matière de phosphore total (comme les copeaux de bois et les matières solides comme la boue de chaux et les cendres).

L'analyse des systèmes de gestion des éléments nutritifs comprenait généralement la mise en évidence des lacunes dans les procédures et les procédés existants de gestion des éléments nutritifs, en les comparant aux [*Meilleures pratiques de gestion dans l'utilisation des nutriments pour le traitement des effluents*](#) de l'Association des produits forestiers du Canada. En évaluant les variables dans les bases de données concernant les activités quotidiennes de traitement biologique et en mettant l'accent sur les déchets relâchés, l'apport de produits chimiques et les essais de surveillance, il était possible de déterminer le rendement général du système de traitement des effluents et de mettre en évidence des initiatives clés pour faire avancer le système vers une traitabilité de qualité. Les variables communes mesurées comprenaient le phosphore total, le phosphore ajouté (souvent l'acide phosphorique), le phosphore résiduel dans l'effluent, les matières en suspension, le COT et l'indice de volume des boues. Les études concernant la gestion des éléments nutritifs comprenaient souvent l'évaluation des protocoles de contrôle, des méthodes d'analyse, de l'équipement et des besoins en matière de formation du personnel.

Certaines études sont allées au-delà de l'analyse des sources des éléments nutritifs et de la gestion des éléments nutritifs et ont évalué les technologies de retrait du phosphore ou déterminé les changements saisonniers en échantillonnant des éléments nutritifs tous les mois dans la rivière en amont du point de rejet ainsi que dans l'effluent filtré et non filtré. Quelques études ont

examiné l'impact du dragage dans les bassins de stabilisation aérés sur la concentration d'éléments nutritifs dans l'effluent final.

Solutions mises en évidence pour les effets eutrophiques

La plupart des solutions mises en évidence pour éliminer les effets liés à l'eutrophisation comprenaient l'amélioration du système de traitement des eaux usées. Un plus petit nombre de solutions identifiées comprenaient les changements apportés aux procédés des fabriques. Les solutions liées aux procédures, aux procédés et à l'équipement du système de traitement des eaux usées comprenaient ce qui suit :

- une meilleure surveillance au sein du système;
- une efficacité accrue de l'apport d'éléments nutritifs supplémentaires;
- un entretien et une vérification de l'équipement;
- une planification et des procédures améliorées;
- des changements physiques apportés au système de traitement des eaux usées;
- une formation du personnel et des recherches supplémentaires.

De nombreuses études de recherche de solutions ont mis en évidence des améliorations de la surveillance des systèmes de traitement des eaux usées et de leurs procédés. Les améliorations suggérées étaient les suivantes :

- l'ajout de nouveaux sites de surveillance ou de sites de surveillance améliorés;
- l'augmentation de la fréquence de la surveillance;
- l'ajout de programmes d'essai pour les autres paramètres, tels que les nitrites, les nitrates, le phosphore total, les microbes et les éléments nutritifs dans l'influent de la fabrique.

Afin d'augmenter la précision des apports d'éléments nutritifs supplémentaires, il a été proposé d'améliorer les bases de données sur les produits chimiques (notamment le rapport entre la DCO et la DBO, et les méthodes et les procédures d'essai). Une étude a proposé de discuter des résultats de la DCO et de la DBO lors des réunions portant sur la production journalière.

Les solutions permettant d'améliorer l'efficacité des apports d'éléments nutritifs supplémentaires s'attachaient aux façons d'optimiser l'utilisation des éléments nutritifs supplémentaires, dans le but de maintenir le niveau le plus bas possible de résidus d'éléments nutritifs tout en poursuivant le maintien efficace de la DBO et un retrait efficace des matières solides totales en suspension, sans provoquer de toxicité pour les organismes aquatiques. Dans certains cas, cette optimisation impliquait la création ou le renouvellement de la stratégie d'apport d'éléments nutritifs en se fondant sur les changements de niveau ou les paramètres contrôlés comme la quantité de phosphore présent dans les cours d'eau des fabriques, la DCO de l'influent, l'ammoniac et les résidus d'orthophosphate. Les autres solutions mises en évidence comprennent le prolongement de la période sans apport d'éléments nutritifs supplémentaires, ou inversement l'ajout d'une source de nourriture pour les microbes du système pendant les périodes de fermeture prolongée. Il a été proposé de modifier les suppléments, comme de remplacer la solution de polyphosphate d'ammonium par une source d'éléments nutritifs ne contenant que du phosphate, ou de séparer l'apport d'azote et de phosphore en installant un système indépendant d'apport en acide phosphorique. Il a été proposé d'apporter des changements à la façon dont les éléments nutritifs sont ajoutés au système, comme l'ajout de fonctions continues et automatisées d'ajustement du débit ou le recyclage de l'effluent traité dans la première cellule du bassin de stabilisation aéré afin de réutiliser les résidus d'éléments nutritifs.

Un examen de toutes les méthodes d'analyse associées à la gestion des éléments nutritifs était la solution la plus commune mise en évidence pour améliorer la planification et les procédures relatives au système de traitement des eaux usées. Il a été proposé d'élaborer un document de planification afin de répondre de façon plus efficace et en temps opportun aux changements apportés à la flore bactérienne du système de traitement. L'établissement de cibles pour les concentrations d'azote et de phosphore a été déterminé comme une solution permettant de garantir le maintien des meilleures pratiques de gestion. Une autre solution consistait à mettre en place une méthode pour que le gestionnaire en environnement puisse évaluer la teneur en éléments nutritifs de chaque nouveau produit utilisé au cours du processus de production.

Les solutions permettant d'optimiser le système de traitement des eaux usées comprenaient l'entretien et la vérification de l'équipement. Il a été proposé d'élaborer des programmes d'entretien préventif et des exigences de vérification des pompes doseuses des éléments nutritifs, comme la mise en place d'une procédure hebdomadaire de vérification manuelle des pompes de mesure du débit et de vérification de l'exactitude et de la répétabilité du débit rejeté. D'autres solutions comprenaient le maintien d'un bon calibrage de l'équipement et la mise à jour de l'équipement afin que les systèmes de contrôle des éléments nutritifs puissent fonctionner sept jours sur sept.

Des solutions comprenant l'application de changements physiques au système de traitement des eaux usées ont été mises en évidence. Le dragage régulier du bassin de stabilisation aéré afin de maintenir les volumes disponibles au-dessus de 50 % a été déterminé comme une solution pour diminuer la quantité de matières solides dans l'effluent final. La régulation de la charge pénétrant dans le système de traitement des eaux usées, l'amélioration de la décantation dans les principaux bassins de décantation et le maintien d'une température optimale en hiver sont des solutions qui ont été mises en évidence afin d'optimiser le traitement biologique. L'ajout d'un deuxième bassin d'aération en série ou parallèle a été mis en évidence dans une étude comme une solution permettant d'accroître le temps de rétention hydraulique dans la zone d'aération. L'ajout de technologies de post-traitement a été évalué comme une solution possible; ces technologies comprenaient le retrait du phosphore ou des procédés de traitement physico-chimiques comme les technologies améliorées de coagulation, de floculation et de décantation, la filtration active de sable et la décantation conventionnelle, et les différentes méthodes de filtration. Une étude a proposé qu'un système anaérobie puisse traiter préalablement les eaux usées, retirant près de 80 % de la DCO et la convertissant en biogaz afin de produire de l'énergie sur place. L'étude a indiqué que le retrait de la DCO entraînerait une diminution des éléments nutritifs supplémentaires, des polymères et des boues, et par conséquent, la diminution de la DCO et des éléments nutritifs pénétrant dans le milieu récepteur.

D'autres solutions mises en évidence comprenaient la formation du personnel et les recherches supplémentaires. La formation des analystes et des techniciens qui travaillent sur le système de traitement des eaux usées était une recommandation commune, tout comme la révision des procédures et des instructions de travail. Les recommandations relatives aux recherches supplémentaires étaient les suivantes :

- les analyses Pinch et du bilan massique;
- la comparaison des taux sains de phosphore au sein d'une cellule par rapport au rendement général du traitement afin de confirmer une cible au point de rejet et les taux acceptables au sein du système;

- la recherche supplémentaire des espèces de phosphore présentes dans les cours d'eau des fabriques;
- l'évaluation de l'utilisation des produits qui provoquent une forte DBO;
- la recherche de la contribution des cendres des chaudières à la présence de phosphore total dans les cours d'eau des fabriques;
- la recherche d'aides à la décantation de rechange contenant une quantité négligeable de cations quaternaire d'ammonium.

De plus, un plus petit nombre de solutions relatives aux procédés des fabriques ont été mises en évidence. Certaines de ces solutions portaient sur les efforts continus cherchant à limiter les rejets de matières organiques de la fabrique à l'unité de traitement biologique. Des exemples de changements apportés aux procédés qui diminueraient la charge de la DBO comprennent l'amélioration du lavage de la pâte brune, de la réutilisation des condensats, de la déshydratation des boues et du contrôle des déversements ainsi que l'amélioration du bassin de déversement. L'amélioration de la fiabilité des instruments de mesure de la conductivité a été déterminée comme un moyen d'optimiser davantage le système de traitement des eaux usées en réduisant le volume et la durée des rejets fortement chargés (surcharges). L'installation d'un système de récupération des fibres de pâte à papier ou d'un diffuseur à pression permettrait de réduire la charge de la DBO vers l'unité de traitement biologique. Pour réduire la charge des éléments nutritifs dirigés vers l'unité de traitement biologique, une surveillance supplémentaire de la teneur en phosphore des copeaux de bois a été recommandée afin de faciliter la possibilité d'utiliser uniquement les copeaux à faible teneur en phosphore pour la production de pâte. Il a également été recommandé d'utiliser de la chaux ayant une teneur en phosphore plus faible.

3.3.3 Études de recherche pour la diminution de la taille des gonades chez les poissons

L'initiative de collaboration entreprise par l'industrie, les chercheurs universitaires et gouvernementaux pour déterminer la cause de la diminution de la taille des gonades chez les poissons (étude nationale) s'est attachée au départ à sélectionner les essais en laboratoire les plus appropriés pour mener les recherches des causes liées à cet effet. Les travaux comprenaient une évaluation des poissons sauvages d'une rivière recevant les effluents d'une fabrique et une série d'essais en laboratoire portant sur quatre espèces de poissons, parallèlement à des analyses chimiques approfondies des effluents utilisés dans les essais. La durée des essais en laboratoire variait de quelques jours à plus de six mois et ceux-ci couvraient un assortiment d'indicateurs de reproduction chez les poissons allant du niveau biochimique à la production d'œufs.

Le rapport final de l'étude nationale au cours du cycle 4 (Kovacs *et al.*, 2007) a conclu que le critère de production d'œufs dans les essais en laboratoire semblait être le plus approprié pour évaluer la capacité d'un effluent à avoir un effet sur la reproduction des poissons, étant donné que l'on a déterminé que les effets de l'effluent sur ce critère étaient similaires pour trois espèces de poissons. Les résultats de l'étude ont également suggéré que l'effet de l'effluent d'une fabrique sur la production d'œufs peut être évalué de façon fiable dans un délai plus court que ce que l'on avait pensé, confirmant l'indication que le critère de production d'œufs peut être un outil utile pour les futures études de recherche des causes et de solutions. La variabilité des réponses du méné à grosse tête à l'effluent et des résultats des analyses chimiques indique que la qualité de l'effluent d'une fabrique donnée peut varier au cours du temps, démontrant la difficulté à déterminer les agents responsables et la nécessité de mener davantage d'études. Le rapport a

conclu qu'il serait uniquement possible de faire une sélection finale des outils de diagnostic pour les études de recherche en réalisant des études similaires dans d'autres fabriques.

Le rapport final de l'étude nationale au cours du cycle 5 (Martel *et al.*, 2010) décrit des études similaires menées dans deux autres fabriques. La variabilité temporelle des effluents pour ce qui est de la reproduction du poisson a été examinée et des essais en laboratoire ont été menés pour confirmer les hypothèses concernant les causes et les sources de la variabilité. La durée des essais en laboratoire variait de quelques jours à plusieurs semaines et ceux-ci couvraient une évaluation des critères de reproduction chez les poissons allant du niveau biochimique à la production d'œufs. Les poissons sauvages d'une rivière recevant les effluents d'une fabrique ont fait l'objet d'une évaluation, et la qualité des effluents finaux a été caractérisée en mesurant un indice de profilage avec chromatographie en phase gazeuse, la DBO et les composés organiques préoccupants (p. ex. méthyl-2-cyclopentanone).

Les essais à court terme (≤ 7 jours) ont indiqué que la réponse en matière de production d'œufs à l'exposition à l'effluent était le critère le plus sensible pour deux espèces de poissons. Les essais à plus long terme (environ 30 jours) ont également indiqué que la production d'œufs était le critère le plus sensible et que les effets de l'effluent sur la production d'œufs se produisaient à des concentrations plus faibles que pour les essais à court terme. L'étude nationale a indiqué que la production d'œufs du méné à grosse tête suivait les changements de la qualité de l'effluent étant donné qu'elle dépendait des perturbations de la production, des réouvertures des fabriques et des conditions affectant le rendement du traitement biologique. Des essais en laboratoire supplémentaires sur cinq espèces de poissons ont confirmé la possible contribution de la liqueur résiduaire aux effets sur la production d'œufs provoqués par les effluents finaux des fabriques.

Les travaux réalisés dans le cadre de l'étude nationale au cours des cycles 4 et 5 ont déterminé que la production d'œufs dans les essais à court terme était l'outil de diagnostic le plus approprié pour les futures études de recherche des causes et de solutions pour les effets confirmés des effluents des fabriques. 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, le rapport a conclu que, en raison des effets importants sur la production d'œufs, les études de recherche des causes et de solutions utilisant un tel essai apporteraient des avantages pour l'environnement. Le rapport de l'étude nationale au cours du cycle 5 a également mis en évidence des pistes pour les futures études de recherche de solutions possibles pour les effets confirmés. Ces pistes comprenaient la réduction des pertes de matières organiques et des perturbations au cours du traitement biologique.

Le rapport final de l'étude nationale au cours du cycle 6 (Martel *et al.*, 2012) a appliqué la production d'œufs et les outils de caractérisation chimique des effluents mis au point au cours des deux cycles précédents sur différents effluents, afin d'examiner des pistes pour des solutions liées à la réduction des pertes de matières organiques et des perturbations au cours du traitement biologique. Vingt fabriques ont participé à l'étude nationale et les effluents de chacune de ces fabriques ont été évalués à au moins trois reprises. Par conséquent, il était possible de mener une évaluation de la qualité des effluents en lien avec la reproduction des poissons au sein du secteur et dans chacune des fabriques. Les vingt fabriques participantes ont été regroupées en quatre catégories : fabriques de pâte kraft (huit), fabriques de pâte mécanique (cinq de pâte

thermomécanique, une de pâte chimico-thermomécanique blanchie), fabriques de pâte recyclée, de papier, de carton (quatre) et fabriques utilisant la cuisson au bisulfite (deux).

Un lien étroit entre la DBO₅¹⁴ des effluents finaux des fabriques de pâte kraft et la production d'œufs du méné à grosse tête a été observé. La production d'œufs a considérablement diminué dans l'ensemble des cas où la DBO₅ était supérieure à 25 mg/L. Plus de 90 % des données obtenues des fabriques de pâte kraft ont appuyé la conclusion que les effluents finaux avec une DBO₅ inférieure à 25 mg/L n'ont pas d'effet sur la production d'œufs dans les essais en laboratoire. Lorsque la DBO₅ des effluents des fabriques a diminué au cours de l'étude nationale de cycle 6, en raison d'initiatives internes de contrôle et de réduction des rejets ou de l'optimisation du traitement biologique, l'effet sur la production d'œufs a disparu.

Tous les effluents recueillis des fabriques de pâte mécanique contenaient des niveaux de DBO₅ inférieurs à 20 mg/L et quatre des six effluents des fabriques n'avaient pas d'effet sur la production d'œufs. Les effluents des deux autres fabriques, une fabrique de pâte thermomécanique et une fabrique de pâte chimico-thermomécanique blanchie, ont considérablement réduit la production d'œufs indépendamment des niveaux de DBO₅. Les effluents des fabriques de pâte thermomécanique ayant un effet sur la production d'œufs n'avaient pas donné ces résultats lors des essais précédents et étant donné que la production des fabriques et l'efficacité du traitement n'avaient pas changé, l'étude nationale a indiqué que d'autres facteurs, comme l'utilisation des polymères et des additifs, pourraient bien contribuer à la diminution de la ponte. Aucune explication des raisons pour lesquelles les effluents de la fabrique de pâte chimico-thermomécanique blanchie ont eu un effet sur la production d'œufs n'a été donnée, mais des recherches supplémentaires sur ce type de fabriques ont été recommandées.

Les niveaux de DBO₅ pour les fabriques de pâte recyclée oscillaient entre 2 et 6 mg/L dans trois des fabriques et entre 45 et 86 mg/L pour la quatrième fabrique (en raison d'une teneur en matières solides exceptionnellement élevée). Sur les 18 échantillons d'effluent recueillis dans ces fabriques, seuls quatre déprimaient la production d'œufs, parmi lesquels trois pourraient être liées aux perturbations lors du traitement biologique. Il n'y avait aucun lien entre la DBO₅ et la production d'œufs, et par conséquent, l'étude nationale a conclu qu'il est peu probable que ces effluents aient des effets sur la reproduction des poissons dans des conditions de fonctionnement normales.

Tous les effluents recueillis des deux fabriques utilisant la cuisson au bisulfite provoquaient des dépressions importantes de la production d'œufs. Les niveaux de DBO₅ oscillaient de 17 à 24 mg/L dans une fabrique et de 16 à 65 mg/L dans une autre fabrique. En raison des données limitées, l'étude nationale n'a pas pu prédire l'existence d'un lien entre la DBO₅ et la production d'œufs ou prédire que des réductions supplémentaires de la DBO₅ seraient suffisantes pour éliminer l'effet sur la production d'œufs.

L'étude nationale a conclu que la meilleure façon de réduire les effets sur la reproduction des poissons dans les études en laboratoire consistait à réduire la charge des matières organiques dans les effluents finaux, et que, en optimisant le traitement biologique, en réduisant les rejets et la DBO₅ dans tous les procédés, il serait possible d'améliorer la qualité des effluents. Le seuil de

¹⁴ La DBO₅ est la quantité d'oxygène dissous consommée en cinq jours par les procédés biologiques de dégradation de la matière organique et constitue une mesure de la teneur en matière organique des eaux usées.

25 mg/L pour la DBO₅ dans les effluents finaux a fait ses preuves et a permis, dans de nombreux cas, d'éliminer les effets sur la production d'œufs en laboratoire.

Une autre étude de recherche des causes de la diminution de la taille des gonades chez les poissons a été menée par deux fabriques indépendamment de l'étude nationale. Cette étude comprenait des évaluations des sources de toxicité et des données sur cette dernière pour isoler les flux de déchets au sein de la fabrique pouvant avoir des effets sur la reproduction des poissons. Les poissons en laboratoire ont été exposés à six flux de déchets différents et à des eaux de référence non traitées. Des méthodes de séparation permettant de déterminer la catégorie de produits chimiques qui pourraient provoquer une baisse des stéroïdes sexuels du plasma chez les choquemorts ont été élaborées et peaufinées en les appliquant de façon itérative aux flux de déchets biologiquement actifs. L'effet des effluents finaux sur la production d'œufs des choquemorts adultes a également été évalué.

Dans une fabrique, la source des composés provoquant des effets sur la reproduction et d'autres effets sur les poissons en laboratoire a été mise en évidence comme étant le débit d'entrée d'osmose inverse (cinquième condensat produisant un effet). Les composés responsables étaient présents dans le concentré d'osmose inverse, qui est éliminé et brûlé, mais pas dans le perméat d'osmose inverse qui pénètre dans les effluents finaux. Pour l'autre fabrique, les poissons exposés à 3 % et 100 % de l'effluent final montraient des coefficients de condition terminaux bien inférieurs par rapport aux contrôles, mais il n'y avait pas de différences importantes pour tous les autres paramètres mesurés (par exemple, l'indice gonado-somatique, les niveaux d'hormones, la production d'œufs). Les changements dans la fabrique comprenaient un changement au niveau de la production, le passage du papier journal à du papier surcalandré de très grande qualité, la diminution de la DBO dans l'usine de traitement, l'augmentation de la capacité d'aération dans l'usine de traitement et le passage à l'hydroxyde de magnésium comme source alcaline dans le procédé de blanchiment au peroxyde. Les effluents traités (bioréacteur par osmose inverse et à lit mobile dans une fabrique et traitement secondaire standard dans une autre) des deux fabriques sont mélangés et rejetés à un point de rejet principal. L'étude conjointe a conclu qu'il est peu probable que les effluents actuels des deux fabriques aient des effets sur la reproduction des poissons dans le milieu récepteur en raison des changements apportés au niveau de la production et du traitement des eaux usées.

3.3.4 Études de recherche pour les effets sur les tissus de poissons

Une fabrique a examiné un effet confirmé sur les tissus de poissons. L'étude 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. 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. palourdes) 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 en raison de la bioturbation¹⁵ et de la décomposition du biote mort contaminé. L'étude s'appuyait sur l'hypothèse que les strates contaminées sont probablement déjà enfouies sous des couches biologiquement actives dans des zones abritées ou de dépôt; toutefois, dans les zones exposées ou érodées, les strates contaminées ne resteront pas enfouies pendant de nombreuses années.

4. Solutions mises en œuvre et résultats obtenus

De nombreuses fabriques ont mis en œuvre les solutions déterminées dans les études de recherche. La plupart des solutions mises en œuvre pour les effets liés à l'eutrophisation comprenaient le système de traitement des eaux usées et les changements au niveau des apports d'éléments nutritifs, l'amélioration des procédures de surveillance et d'essai, l'ajout d'équipement, la mise à jour ou la réparation de l'équipement, le dragage et la formation du personnel.

Les changements au niveau des apports d'éléments nutritifs comprenaient l'augmentation des éléments nutritifs supplémentaires pendant les périodes de fermeture ou de temps froid ou la réduction ou l'arrêt complet des apports d'éléments nutritifs supplémentaires pendant les périodes de fonctionnement normal. En raison du nouveau calcul de la corrélation entre la DBO et la DCO, une fabrique a indiqué qu'il se peut que la DBO prédite ait été surestimée de 15 %, et pourrait, par conséquent, réduire le dosage d'éléments nutritifs utilisé. Une autre fabrique a poursuivi le recyclage de certains effluents finaux afin de réutiliser l'orthophosphate dans le bassin de stabilisation aéré au-delà de la saison d'été, réduisant ainsi la nécessité d'apport progressif de phosphore en hiver. Pour une autre fabrique, le passage à un engrais à faible teneur en phosphore, et ne fertilisant que d'octobre à avril lorsque les températures de l'eau plus faibles requièrent l'apport d'éléments nutritifs, a permis de maintenir un traitement des effluents efficace. Plusieurs fabriques ont utilisé le lactosérum du fromage comme source d'éléments nutritifs pour la flore bactérienne de la lagune pendant les périodes de fermeture prolongée.

De nombreuses fabriques ont amélioré les procédures de surveillance et d'essai mises en évidence dans les études de recherche. Voici des exemples d'amélioration de la surveillance :

- augmenter la fréquence des essais concernant la DCO à deux fois par jour, sept jours sur sept;
- augmenter la fréquence des essais concernant les éléments nutritifs d'une fois par semaine à cinq jours par semaine;

¹⁵ La bioturbation est le brassage ou le mélange des sédiments ou du sol sous l'action d'organismes, en particulier par les organismes fouisseurs.

- ajouter des programmes d'essai pour les résidus de nitrate et de nitrite et la DBO, les matières solides totales en suspension, l'oxygène dissous et le pH dans la lagune;
- intégrer un seuil pour l'indice de volume des boues au-delà duquel une analyse serait réalisée afin de déterminer la cause d'une mauvaise décantation.

L'apport d'éléments nutritifs supplémentaires a été optimisé en augmentant le nombre de sites d'échantillonnage et leur qualité afin d'améliorer la surveillance des résidus d'éléments nutritifs et l'efficacité du traitement. Les procédures de surveillance et d'essai en laboratoire ont été validées, et les procédures normalisées ont été mises à jour. Un suivi quotidien du dosage des éléments nutritifs a été mis en œuvre afin de garantir que les taux d'apport d'éléments nutritifs optimisaient les apports d'éléments nutritifs supplémentaires. Les discussions au sujet des résultats internes concernant la DCO et des résultats de tierces parties concernant la DBO ont été intégrées dans les réunions quotidiennes matinales concernant la production et, dans un cas, un détecteur a été installé dans la bouche d'égout de la lagune afin de fournir une mesure quotidienne de la DCO; le taux de production de la fabrique est ajusté en fonction de cette mesure journalière.

Les ajouts d'équipement, les mises à jour ou les réparations de l'équipement étaient essentiellement liés à l'amélioration de l'aération. Les systèmes d'aération par fines bulles ont été réparés, les aérateurs existants moins efficaces ont été remplacés par des aérateurs plus efficaces, et du matériel de préaération a été installé, le tout afin d'augmenter la quantité d'oxygène dissous dans le système de traitement. Des membranes ou des rideaux ont été installés ou réparés afin d'améliorer les temps de rétention hydraulique dans les lagunes, permettant un retrait plus efficace des matières en suspension et de la DBO. Afin de stimuler la consommation d'ammoniac rejeté par la boue, des pompes de recirculation ont été installées. Une pompe pour le système d'alimentation en ammoniac a été installée afin de pouvoir réaliser de petits ajustements du taux d'alimentation et, dans un cas, des travaux ont débuté sur un nouveau système de prétraitement anaérobie. D'autres solutions mises en œuvre pour le système de traitement des eaux usées comprenaient ce qui suit :

- le dragage du bassin ou de la lagune de stabilisation aéré, avec un dragage prévu à l'avenir tous les deux ans;
- l'ajout d'un contrôle du pH à l'entrée ou à la sortie de la lagune en ajoutant de l'acide sulfurique;
- la formation d'analystes et de techniciens.

Dans un cas, la stratégie de contrôle du pH a été abandonnée après une année, car elle n'indiquait pas que l'effluent final avait un effet important sur la toxicité, et une fabrique a retiré un rideau car cela créait un déséquilibre entre les deux cellules et augmentait la toxicité des effluents.

Les solutions comprenant des changements au niveau des procédés des fabriques ont également été mises en œuvre pour les effets liés à l'eutrophisation et se concentraient à réduire la quantité de DBO ou de DCO pénétrant dans le système de traitement des eaux usées. Voici des exemples de changements au niveau des procédés des fabriques :

- modifier la gestion de l'eau blanche;
- installer un diffuseur sous pression au niveau du digesteur et du diffuseur d'air existant pour améliorer le lavage de la pâte brune et diminuer la perte de liqueur noire¹⁶;
- démarrer une deuxième étape de délignification à l'oxygène afin de diminuer le transfert de la lignine résiduelle¹⁷ et de la liqueur noire dans l'usine de blanchiment;
- installer un système de conservation de l'eau permettant l'élimination de l'acide producteur de déchets dans le système de traitement des effluents;
- installer un diffuseur à pression;
- rediriger un courant de condensat depuis les égouts vers le procédé de traitement distillateur du courant de condensat;
- améliorer le fonctionnement du décanteur primaire et la déshydratation des boues.

Dans les études pour lesquelles les résultats obtenus ont été rapportés, la teneur en phosphore résiduel et en azote de l'effluent a été le plus souvent réduite, dans certains cas de 50 %. Des réductions des niveaux de DBO et de matières solides totales en suspension dans l'effluent final ont également été rapportées. Dans certaines fabriques, la mise en œuvre de solutions s'est traduite par la diminution de la quantité d'éléments nutritifs supplémentaires ajoutés au système de traitement des eaux usées, sans diminuer l'efficacité du traitement, étant donné que les taux de retrait de la DBO sont restés supérieurs à 95 %.

5. Conclusions

Essais de toxicité sublétales et études de suivi biologique pour évaluer les effets

Les effluents finaux ont déclenché des réponses de toxicité sublétales plus souvent au cours du cycle 6 qu'au cours des cycles précédents (63 % des essais par rapport à 50 %). On a constaté une augmentation de la toxicité générale dans les essais menés sur *Ceriodaphnia dubia* (invertébré d'eau douce) et les échinides.

Les conclusions des études de suivi biologique menées pour évaluer et confirmer les effets variaient. Deux études ont conclu que, après une période de surveillance réduite, les effets sont toujours présents dans le milieu récepteur; la prochaine étape consistera à confirmer les résultats. D'autres études ont conclu que les effets confirmés dans les études précédentes ont été provoqués par les effluents des fabriques; la prochaine étape consistera à mener des études pour trouver des solutions. D'autres études ont déterminé que les effets observés dans la zone exposée étaient attribuables à des causes autres que les effluents des fabriques (c.-à-d. les eaux usées municipales). Les deux fabriques côtières qui ont mené des études pour évaluer les effets sur les tissus de poissons au cours du cycle 6 ont observé un effet sur les tissus de poissons.

¹⁶ La liqueur noire est la liqueur de cuisson résiduaire issue du procédé de pâte kraft lors de la digestion du bois à pâte dans la pâte à papier, retirant la lignine, les hémicelluloses et les autres extraits de bois pour libérer les fibres de cellulose.

¹⁷ La lignine est un composé chimique complexe provenant le plus souvent du bois et fait partie intégrante des parois cellulaires secondaires des plantes.

Études de recherche pour les effets eutrophiques

Pour de nombreuses fabriques, on a bien compris que la cause des effets liés à l'eutrophisation était la présence d'éléments nutritifs dans les effluents finaux rejetés dans le milieu récepteur. Dans ces cas, les fabriques ont simplement indiqué la cause et se sont mises à rechercher de possibles solutions pour éliminer les effets. Certains des éléments nutritifs mis en évidence comprenaient le phosphore biodisponible, les biosolides des effluents, le phosphore total et dissous, l'azote et le carbone organique.

Pour d'autres fabriques où des facteurs confondants intervenaient, comme les rejets des eaux usées municipales à proximité, les études de recherche des causes consistaient à déterminer si les effluents des fabriques provoquaient les effets observés, et s'il en était ainsi, leur degré de contribution aux effets observés. Des études sur les communautés benthiques ont confirmé que les effets observés étaient fortement liés à l'exposition aux effluents des fabriques, et non au substrat. Des études sur le mésocosme ont déterminé que les effluents des fabriques pouvaient avoir des effets sur la qualité de l'eau et les communautés benthiques dans le milieu récepteur, tandis que les expériences menées sur le microcosme ont conclu que les effluents des fabriques pouvaient avoir des effets sur les sédiments et les communautés benthiques à des concentrations importantes. Les études en laboratoire ont déterminé que les matières solides dans les effluents des fabriques peuvent contribuer aux effets d'étouffement/de toxicité, mais les fractions d'effluent ne comprenant pas de matières solides ont également déclenché des effets de toxicité. Dans quelques cas, des études de recherche des causes ont conclu que les effluents actuels des fabriques n'étaient pas la principale cause des effets eutrophiques. Au lieu de cela, les influences liées à la décomposition des couches de fibres historiques, l'habitat ou les rejets des eaux usées municipales ont été identifiés comme étant les causes des effets observés.

Les solutions mises en évidence pour éliminer les effets liés à l'eutrophisation comprenaient le système de traitement des eaux usées et les changements apportés aux procédés des fabriques. Les solutions liées aux procédures, aux procédés et à l'équipement du système de traitement des eaux usées comprenaient ce qui suit :

- une meilleure surveillance au sein du système;
- une efficacité accrue de l'apport d'éléments nutritifs supplémentaires;
- un entretien et une vérification de l'équipement;
- une planification et des procédures améliorées;
- des changements apportés au système de traitement des eaux usées lui-même;
- une formation du personnel et des recherches supplémentaires.

Études de recherche pour la diminution de la taille des gonades chez les poissons

Pour l'effet de la diminution de la taille des gonades chez les poissons, l'étude nationale a utilisé les outils de diagnostic élaborés pour les effluents de 20 fabriques et a conclu que le seuil de 25 mg/L pour la DBO₅ dans les effluents finaux était solide et se traduisait dans de nombreux cas par l'élimination des effets sur la reproduction des poissons en laboratoire. L'étude nationale a conclu que la meilleure façon de réduire les effets sur la reproduction des poissons dans les études en laboratoire consistait à réduire la charge des matières organiques dans les effluents

finaux et qu'il était possible d'améliorer la qualité des effluents en optimisant le traitement biologique, en réduisant les rejets et la DBO₅ dans tous les procédés.

Études de recherche pour les effets sur les tissus de poissons

La seule étude de recherche menée pour les effets sur les tissus de poissons a déterminé que les sédiments déposés après l'ouverture de la fabrique, mais avant la mise en œuvre du traitement secondaire de l'effluent, contenaient des concentrations plus élevées de dioxines et furanes. Ces dépôts historiques sont toujours accessibles et les crabes peuvent ingurgiter des contaminants provenant d'autres organismes qui se nourrissent de ces dépôts historiques. L'étude a indiqué que les concentrations de dioxines et furanes dans les tissus de crabes continueraient de diminuer au fur et à mesure que les sédiments contaminés seront enfouis.

Mise en œuvre des solutions et résultats obtenus

Les solutions mises en évidence pour les deux effets les plus répandus des effluents des fabriques, l'eutrophisation et la diminution de la taille des gonades, ont une base commune : la réduction de la charge des composés organiques dans l'effluent final.

De nombreuses fabriques ont mis en œuvre les solutions déterminées dans les études de recherche. La plupart des solutions mises en œuvre pour les effets liés à l'eutrophisation comprenaient le système de traitement des eaux usées et les changements au niveau des apports d'éléments nutritifs, l'amélioration des procédures de surveillance et d'essai, l'ajout d'équipement, la mise à jour ou la réparation de l'équipement, le dragage et la formation du personnel.

Dans les études pour lesquelles les résultats obtenus de la mise en œuvre des solutions ont été rapportés, la teneur en phosphore résiduel et en azote de l'effluent a été le plus souvent réduite, dans certains cas de 50 %; des réductions des niveaux de DBO et de matières solides totales en suspension dans l'effluent final. La mise en œuvre des solutions s'est souvent traduite par la diminution de la quantité d'éléments nutritifs supplémentaires, sans diminuer pour autant l'efficacité du traitement. Lorsque la DBO₅ des effluents des fabriques a diminué au cours de l'étude nationale, en raison d'initiatives internes de contrôle et de réduction des rejets ou de l'optimisation du traitement biologique, l'effet sur la production d'œufs en laboratoire a disparu.

Plus un nombre important de fabriques décideront de mettre en œuvre les solutions, plus on disposera de renseignements sur les résultats pouvant être obtenus. Étant donné que les fabriques qui ont mis en œuvre les solutions mènent des études de suivi biologique afin de réévaluer les effets sur le milieu récepteur, il est possible d'évaluer l'efficacité des solutions mises en évidence pour réduire les effets des effluents. Au cours du temps, les fabriques réévalueront les effets et, en fonction des décisions prises en matière de mise en œuvre des solutions, l'incidence générale de l'effluent de la fabrique sur le milieu récepteur aquatique pourrait être bien différente de celle observée auparavant.

6. 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. 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.
- 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.
- Environnement Canada. 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.
- Environnement Canada. 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.
- Environnement Canada. 2012. *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*. 36 p.
- Environnement Canada. 2012. *Rapport d'étape sur le Règlement sur les effluents des fabriques de pâtes et papiers*. 28 p.
- Kovacs, T.G., Hewitt, L.M., MacLatchy, D.L., Martel, P.H., McMaster, M.E., Parrott, J.L., Van Der Kraak, G.J., van den Heuvel, M.R. 2007. *Projet national d'investigation sur les causes – Cycle 4*. Rapport final. Environnement Canada. 53 p.
- Martel, P.H., Hewitt, L.M., Kovacs, T.G., MacLatchy, D.L., McMaster, M.E., O'Connor, B.I., Parrott, J.L., van den Heuvel, M.R., Van Der Kraak, G.J. 2010. *Cycle 5 – Projet national de recherche de causes*. Rapport final. Environnement Canada. 101 p.
- Martel, P.H., Kovacs, T.G., O'Connor, B.I., Hewitt, L.M., MacLatchy, D.L., Van Der Kraak, G.J., van den Heuvel, M.R. 2012. *Vers des solutions efficaces pour l'élimination des effets sur la reproduction des poissons exposés aux effluents des usines de pâtes et papiers*. FPInnovations. 92 p.

7. Annexe

Tableau A-1 Nombre et type d'études de recherche menées, causes déterminées et solutions mises en évidence au cours des cycles 4, 5 et 6 (nombre de fabriques entre parenthèses)

Type d'études de recherche des causes menées	Nombre d'études (fabriques)
Étude sur les communautés d'invertébrés benthiques	15 (16)
Étude sur les populations de poissons	7 (7)
Suivi de la qualité de l'eau et des sédiments dans le milieu récepteur	14 (13)
Analyse du périphyton	8 (8)
Détermination des sources de matière organique à l'aide des isotopes stables	4 (4)
Caractérisation des éléments nutritifs présents dans l'effluent	8 (7)
Réévaluation des données et des renseignements existants	18 (18)
Méthodes particulières : mésocosme	1 (1)
microcosme	1 (1)
substrats artificiels benthiques	2 (2)
essai de toxicité	1 (1)
détermination des taux de sédimentation	3 (3)
modélisation de la qualité de l'eau	2 (2)
évaluation visuelle de la zone subtidale	2 (1)
délimitation des couches de fibres	1 (1)
dispositifs d'enregistrement des températures sur place	1 (1)
évaluation des changements apportés aux procédés de la fabrique	1 (1)
Projet national de recherche des causes de cycle 4	1 (8)
Projet national de recherche des causes de cycle 5	1 (8)
Évaluation des sources de toxicité et évaluation des données sur la toxicité	1 (2)
Essais <i>in vitro</i> sur des extraits de condensat	1 (2)
Concentrations de dioxines et furanes dans les crabes, les espèces proies et les sédiments	1 (1)
Causes déterminées	Nombre d'études (fabriques)
Effluent de la fabrique	6 (6)
Éléments nutritifs dans l'effluent de la fabrique	12 (13)
Phosphore dans l'effluent de la fabrique	4 (4)
Matières organiques dans l'effluent de la fabrique	18 (32)
Effluent historique de la fabrique (avant l'adoption du REFPP)	4 (4)
Effluent du système de traitement des eaux usées municipales à proximité	4 (4)

Autres causes non liées à l'effluent	4 (6)
Causes non déterminées	3 (3)
Type d'études de recherche de solutions menées	Nombre d'études (fabriques)
Comparaison par rapport au <i>Guide des meilleures pratiques de gestion pour la gestion des éléments nutritifs lors du traitement des effluents</i> (APFC, 2008)	17 (17)
Étude sur la gestion des éléments nutritifs	9 (9)
Étude sur les sources d'éléments nutritifs	9 (9)
Étude sur l'optimisation des apports d'éléments nutritifs supplémentaires	5 (5)
Étude sur l'optimisation des usines de traitement des eaux usées	5 (5)
Évaluation des besoins en formation du personnel	1 (1)
Évaluation des technologies de retrait du phosphore	1 (1)
Projet national de recherche des causes de cycle 6	1 (20)
Lien entre la réduction des effets et les mises à niveau de la fabrique et du traitement	1 (2)
Solutions non requises, effets non liés à l'effluent actuel de la fabrique	4 (6)
Solutions mises en évidence	Nombre d'études (fabriques)
Améliorer ¹⁸ la surveillance des usines de traitement des eaux usées	18 (18)
Améliorer les procédures d'essai et d'analyse des usines de traitement des eaux usées	11 (11)
Optimiser ¹⁹ l'efficacité des usines de traitement des eaux usées	8 (8)
Optimiser l'apport d'éléments nutritifs supplémentaires	13 (13)
Draguer un bassin de stabilisation aéré	4 (4)
Changer le type d'éléments nutritifs supplémentaires	2 (2)
Prolonger la période sans apport d'éléments nutritifs supplémentaires	1 (1)
Réduire le rejet des matières organiques de la fabrique vers l'usine de traitement des eaux usées	11 (11)
Former des analystes et des techniciens	6 (6)
Communiquer les résultats des essais de façon quotidienne	1 (1)
Améliorer les procédures d'entretien et de validation de l'équipement	5 (5)
Réduire le volume et la durée des rejets fortement chargés (surcharges)	3 (3)
Conserver des températures optimales pour la santé de la biomasse en hiver	1 (1)
Recycler une partie de l'effluent traité afin de réutiliser les éléments nutritifs	1 (1)

¹⁸ Les solutions mises en évidence apportant des améliorations comprenaient l'augmentation de la fréquence de la surveillance, l'ajout de paramètres et l'ajout de sites d'échantillonnage ou d'équipement.

¹⁹ Les solutions mises en évidence portant sur l'optimisation comprenaient les changements permettant d'améliorer l'efficacité d'un système.

Ajouter une source de nourriture pour la biomasse pendant les périodes de fermeture prolongée	1 (1)
Réduire le temps de rétention hydraulique avec un deuxième bassin d'aération	1 (1)
Ajouter un système anaérobie afin de prétraiter une partie des eaux usées	2 (2)
Ajouter des technologies de retrait du phosphore (traitement tertiaire)	1 (1)
Mener des études supplémentaires	10 (10)
Projet national de recherche des causes de cycle 6 : réduire la présence de matières organiques dans l'effluent final	1 (20)

WWW.**ec.gc.ca**

Pour des renseignements supplémentaires:

Environnement Canada

Informathèque

10, rue Wellington, 23^e étage

Gatineau (Québec)

K1A 0H3

Téléphone : 819-997-2800

Ligne sans frais : 1-800-668-6767 (au Canada seulement)

Télécopieur : 819-994-1412

Téléimprimeur : 819-994-0736

Courriel : enviroinfo@ec.gc.ca