Environnement Canada Environment Canada

Recherche Aquatique

Plan d'action
DU FRASER

Canada

Vous pouvez obtenir des copies supplémentaires de ce rapport en le téléchargeant à partir du site web du PAF (http://www.pyr.ec.gc.ca/ec/frap/index.html) ou en écrivant à:

Environnement Canada
1200, 73ème avenue ouest, suite 700, Vancouver, Colombie-Britannique, V6P 6H9

ISBN# 0-662-83000-8

En37-99/1998F-2

Rédaction et édition par CoastWriters Research & Communications
Mise en page et graphisme par Iris Communications Inc.

Ce rapport est imprimé sur du papier contenant 20% de fibres post-consommation.
Une encre non toxique à base d'huile végétale a été utilisée.

Photos de la page couverture: EC Aquatics Section (gauche), Chris Laustrup (droite)

Table Des Matières

AXES DE RECHERCHE 3

LACS 4

SéDIMENTS 9

POISSONS 16

SOURCES DE POLLUTION 21

POLLUTION DANS L'ESTUAIRE DU FRASER 24

INDICATEURS DE L'éTAT DE L'éCOSYSTèME 27

L'AVENIR 28

LE BASSIN DU FRASER

Recherche Aquatique

AXES DE RECHERCHE

La recherche financée dans le cadre du Plan d'action du Fraser (PAF) se caractérise par trois grandes composantes.

- Au centre se trouvait une équipe de spécialistes des sciences aquatiques triés sur le volet qui étudiaient la pollution de l'eau, des sédiments, des organismes benthiques, des poissons et des oiseaux dans tout le bassin du Fraser.

- Dans le cadre du PAF, on a également commandé des études sur les habitats de la faune qui portaient sur les aspects suivants : importance et vulnérabilité des habitats; réduction et disparition des habitats sous l'effet de l'urbanisation, de l'agriculture et de l'exploitation forestière; méthodes permettant de rétablir, de préserver et de gérer ces habitats.

- Enfin, conscients de l'interdépendance entre les milieux naturels et les environnements humains, les responsables du PAF ont commandé une série d'études sur les effets, les obstacles et les possibilités économiques et sociaux par rapport à la dépollution et à la gestion des habitats.

Ce chapitre présente les principaux résultats du programme de recherche aquatique, qui s'est déroulé sur sept ans et qui constitue la première composante.

La description et les résultats des études constituant les deux autres composantes de la recherche sont présentés dans d'autres chapitres.

ENCADRÉ : UN INSTITUT HORS DU COMMUN

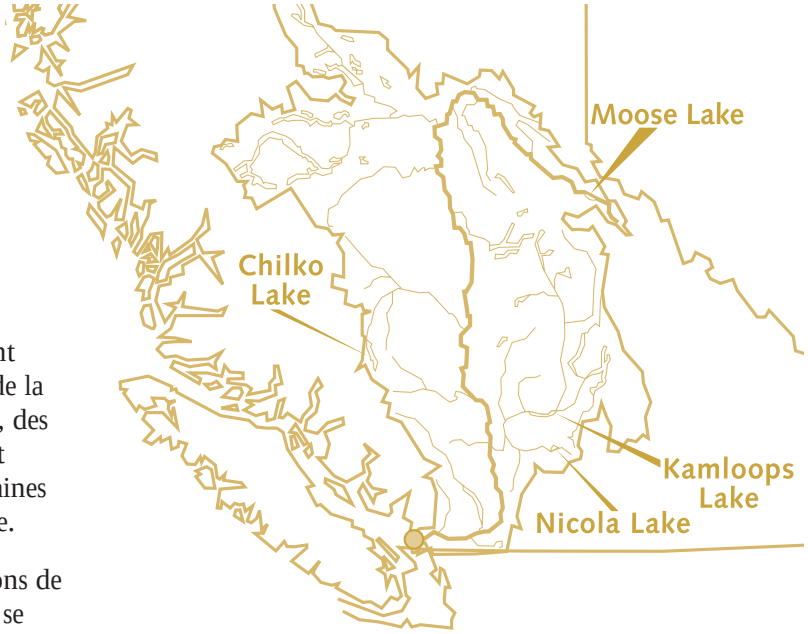
Le PAF a favorisé la collaboration de plus de 40 chercheurs de Pêches et Océans Canada et des universités de la Colombie-Britannique, Simon Fraser, de Victoria et de Waterloo, ainsi que de chercheurs de bureaux régionaux d'Environnement Canada, de l'Institut national de recherche sur les eaux et de l'Institut national de recherches hydrologiques. Ces personnes ont participé à des ateliers annuels; de plus, elles communiquaient ensemble par des réseaux électroniques et partageaient un ensemble commun de ressources. Pendant cinq ans, elles ont mis en commun leur savoir-faire dans leurs disciplines respectives afin d'accroître les connaissances sur l'écosystème du bassin du Fraser.

Une fois terminées les activités du PAF, ces chercheurs ont vaqué à d'autres occupations, mais le fruit de leurs travaux sera diffusé sur Internet (www.pyr.ec.gc.ca/ec/frap/index.html) sous la forme d'une méta-base de données contenant plus de 200 rapports techniques ainsi qu'une bibliographie de documents scientifiques.

L'information sur la recherche aquatique est présentée ici depuis les eaux d'amont du fleuve vers l'aval jusqu'à l'océan.

LACS

LES LACS D'AMONT, DES PIÈGES À POLLUANTS



Le magnifique lac Moose, au pied du mont Robson, dans les Rocheuses, semble loin de la pollution causée par les êtres humains. Or, des travaux effectués dans le cadre du PAF ont révélé que ses eaux sont loin d'être aussi saines que la plupart des gens pourraient le croire.

Les scientifiques ont prélevé des échantillons de foies de lotte, une morue d'eau douce qui se trouve au sommet de la chaîne alimentaire dans des plans d'eau comme le lac Moose. Ils y ont décelé la présence de substances chimiques toxiques en quantités impressionnantes. Ces foies contenaient du toxaphène, un insecticide dont l'usage est interdit depuis longtemps. Ils contenaient également de grandes quantités d'un autre pesticide prohibé, le DDT, ainsi que des BPC, substances chimiques toxiques qu'on trouve dans du matériel électrique ancien et à l'état de traces dans des effluents industriels. Ces résultats sont très préoccupants, car la lotte est très prisée par les pêcheurs sportifs et son foie est consommé par des Autochtones.

EC AQUATICS SECTION

Lac Moose

Comme ces poissons vivent dans un lac éloigné des Rocheuses, d'où peuvent bien venir les contaminants trouvés dans leur foie?

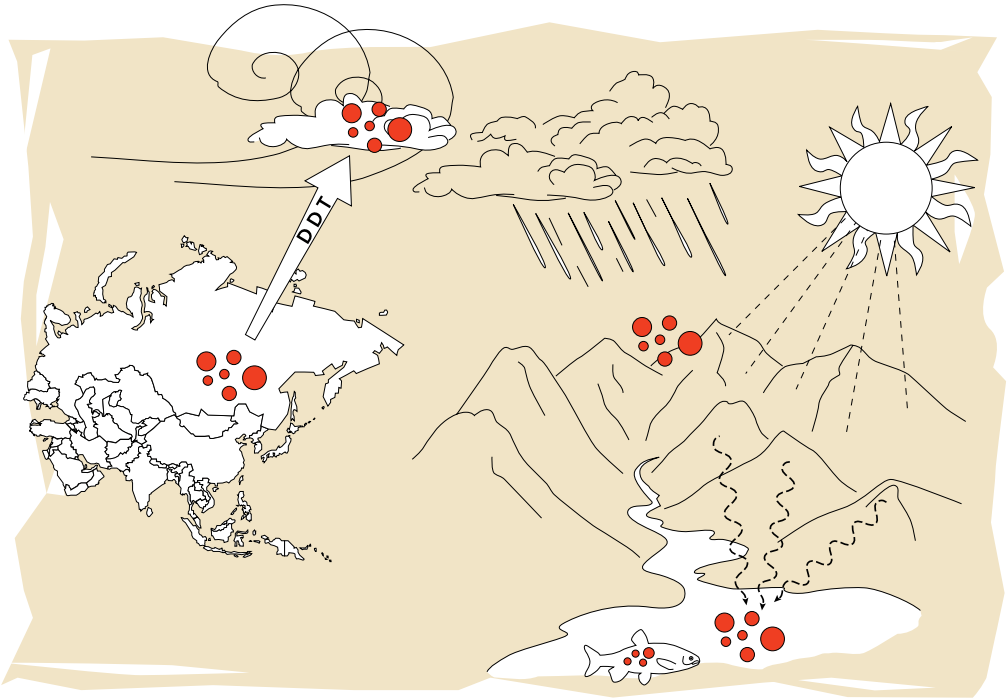
Des recherches plus poussées ont fourni certains indices. Même s'ils avaient une forte teneur en DDT, les foies de lotte (de même que les dépôts de sédiments de fond) ne contenaient pas de quantités correspondantes de DDE et de DDD, les deux produits de dégradation du DDT. Cela semblait indiquer que le DDT n'avait gagné ce milieu que récemment et qu'il n'avait pas encore subi une dégradation notable. On s'est alors tourné vers les sources d'alimentation du lac, à savoir les eaux de fonte des couvertures de neige et des glaciers. Or, les scientifiques se rendaient compte que les polluants peuvent être transportés sur de longues distances par voie atmosphérique, de sorte que les contaminants peuvent ainsi se répandre sur toute la planète. Il se pouvait donc

que le DDT découvert dans le lac Moose provienne d'Asie, où on l'utilise encore. On a également décelé la présence de ce produit dans des sédiments en suspension dans l'eau du Fraser dans la région de McBride, en aval du lac Moose, ce qui indiquait que certaines quantités de DDT se propagent à la grandeur de l'écosystème.

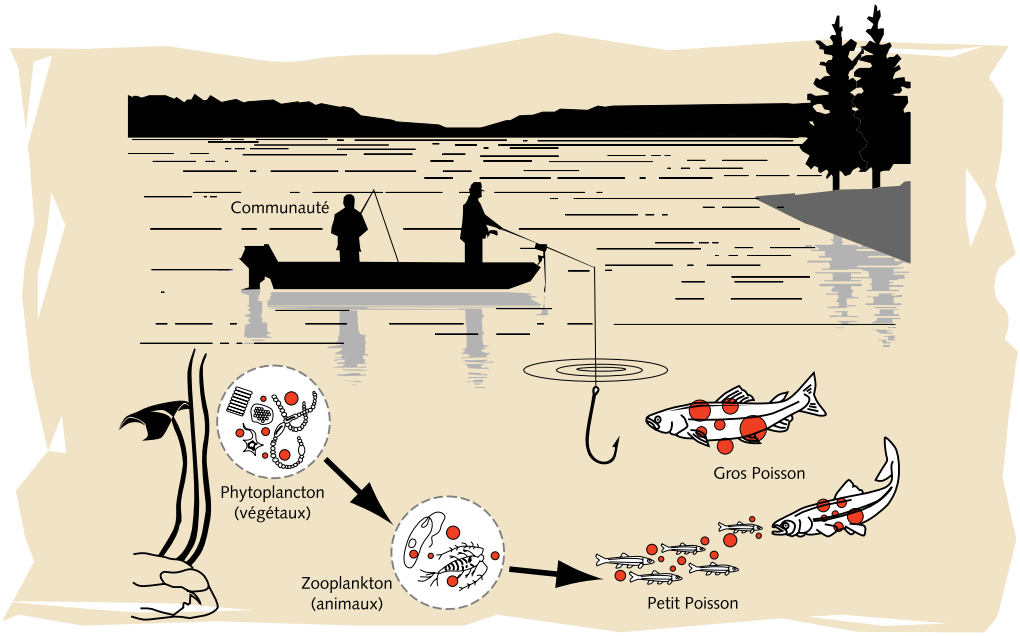
Les scientifiques ont analysé des carottes de sédiments – colonnes de sédiments du fond des lacs montrant les différentes couches formées au fil du temps – prélevées dans le lac Moose. Selon les analyses, il existait seulement des concentrations naturelles moyennes de BPC et de DDT dans ces sédiments. Ils en ont déduit que les fortes teneurs en BPC et en DDT des foies de lotte résultaient de la bioamplification, qui s'explique par le fait que les tissus des animaux agissent comme des filtres qui accumulent et concentrent les BPC et le DDT ingérés dans les aliments. Ces teneurs augmentent à mesure que les animaux récepteurs sont mangés à leur tour par d'autres animaux aux niveaux supérieurs de la chaîne alimentaire. Ainsi, la lotte, qui se trouve au sommet de cette chaîne, ingère les BPC déjà concentrés par ses proies – et les proies de ses proies – et c'est elle qui en accumule les plus grandes quantités. (À moins, bien sûr, qu'elle soit mangée à son tour par des êtres humains …) Les BPC, comme le DDT, parviennent à s'introduire dans la chaîne alimentaire. Tout semble indiquer qu'ils se propagent à la grandeur du globe par l'atmosphère, qu'ils se déposent sur les couvertures de neige et les glaciers par les précipitations et qu'ils gagnent ensuite l'écosystème dans les eaux de fonte.

Les scientifiques ont prélevé des lottes et y ont décelé la présence de substances chimiques toxiques en quantités impressionnantes

La chaîne alimentaire constitue un système d'accumulation et de concentration des contaminants qu'ingèrent les prédateurs.



Même les sites les plus intacts n'échappent pas à la pollution atmosphérique de la planète.



Les contaminants se concentrent de plus en plus à mesure qu'ils progressent dans la chaîne alimentaire.

Le toxaphène posait une énigme semblable. On ne possède pas de données historiques sur ses concentrations car il n'adhère pas très bien aux particules de sédiments, de sorte qu'on ne peut en déceler la présence dans les carottes de sédiments. Toutefois, comme il s'accumule facilement dans les organismes vivants, même de petites concentrations dans l'eau peuvent produire d'impressionnantes quantités chez les poissons. Pourtant, on peut se demander comment le toxaphène s'est introduit dans l'eau, vu qu'on ne l'utilise plus au Canada et aux États-Unis depuis de nombreuses années. Selon les scientifiques, ce produit nous vient probablement aussi d'un autre continent, transporté par les vents puis déposé par les précipitations dans nos bassins hydrographiques.

Les glaciers et les couvertures de neige sont les premiers milieux récepteurs des contaminants transportés dans l'atmosphère

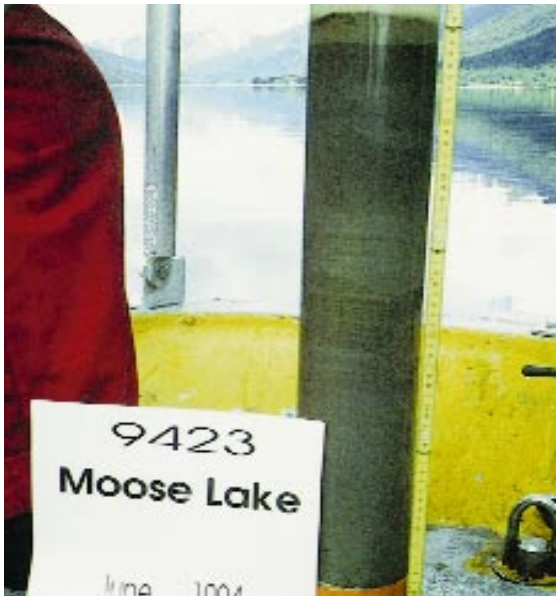
On soupçonne également que les contaminants décelés dans le lac Stuart, près de Fort St. James, et le lac Chilko, situé du côté est de la cordillère de la côte sont d'origine atmosphérique. Les recherches indiquent que les poissons vivant dans les lacs d'amont du Fraser ont tendance à montrer une plus forte teneur en contaminants. Les scientifiques croient que, tout comme les glaciers et les couvertures de neige sont les premiers milieux récepteurs des contaminants transportés dans l'atmosphère, les lacs d'amont sont touchés en deuxième lieu; dans ces nappes d'eau, les substances qui adhèrent aux sédiments peuvent se déposer sur le fond. Si c'est bien ce qui se produit, les régions d'aval dans le bassin hydrographique sont protégées de la contamination par ces barrières situées à haute altitude. Les lacs « vierges » des montagnes, qui forment ces barrières, sont donc des réservoirs contaminés. Dès lors, les Britanno-Colombiens ne peuvent plus tenir pour acquis que leur environnement est isolé des régions polluées du reste du monde.

Il y a un lien à faire avec le réchauffement planétaire. En même temps que la population est de plus en plus sensibilisée à la distribution des polluants par voie atmosphérique, le changement climatique revêt une importance toute particulière dans les bassins hydrographiques des régions montagneuses comme celui du Fraser.

L'accélération de la fonte des glaciers et des couvertures de neige pourrait accélérer à son tour le dégagement dans les lacs d'amont de contaminants accumulés depuis longtemps et ainsi accroître le niveau de pollution par des substances toxiques en aval.

AUTRES SOURCES DE POLLUANTS

Les résultats d'échantillonnages semblables effectués dans le lac Nicola, près de Merritt, dans le bassin hydrographique de la rivière Thompson, ont permis de déceler une source de pollution d'un autre genre. L'analyse de sédiments et de foies de lotte a révélé que les eaux du lac contiennent de faibles quantités de la plupart des contaminants, exception faite du DDT, ce qui est



ROB MACDONALD

Un échantillon de sédiment du lac Moose contenant des contaminants

étonnant. Il semble improbable que ce produit se soit introduit dans ce milieu par voie atmosphérique car, si c'était le cas, les concentrations d'autres contaminants qui lui sont associés (les « organochlorés ») devraient aussi être élevées alors qu'elles ne le sont pas. Qui plus est, le lac Nicola se trouve dans une région relativement sèche de la province et n'est pas entouré d'un vaste ensemble de montagnes et de champs de neige. Or, des données indiquent qu'il s'est produit un dégagement d'une grande quantité de DDT dans le lac il y a relativement peu de temps, soit entre la fin des années 70 et le milieu des années 80, au moins dix ans après qu'on a interdit l'utilisation de ce produit au Canada. On soupçonne que des stocks de DDT ont été utilisés ou éliminés illégalement après l'interdiction.

Quoi qu'il en soit, les résultats de ces études menées dans le cadre du PAF montrent que les effets néfastes d'un produit chimique peuvent se manifester dans l'environnement longtemps après qu'on en interdit l'usage.

Les études menées dans le cadre du PAF démontrent qu'un produit chimique peut avoir des effets néfastes sur l'environnement longtemps après qu'on en ait interdit l'usage

Des carottes de sédiments prélevées dans le lac Stuart tracent le cycle historique de la contamination par le mercure provenant de résidus miniers déversés dans le ruisseau Pinchi, en amont, pendant la Seconde Guerre mondiale. À un certaine époque, la contamination par le mercure affectait l'ensemble du lac. Elle n'a diminué que progressivement et, un demi-siècle plus tard, les concentrations de ce métal n'ont pas encore baissé à leur niveau normal. Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), sous-produit de l'utilisation de combustibles, révèlent un cycle historique comparable dans le lac Harrison, qui est voisin de zones urbaines, agricoles et industrielles, dans la vallée du bas Fraser. Les scientifiques croient que les concentrations d'HAP résultent non seulement de la combustion de carburants fossiles par les véhicules à moteur, mais aussi du brûlage de déchets forestiers et de déchets de bois dans des fours wigwams en certains endroits. L'analyse des couches de sédiments font remonter l'accumulation d'HAP au début des années 1890, et celle-ci a atteint un sommet au cours des années 1950, au moment où le charbon a cédé la place aux hydrocarbures en tant que carburant. Depuis, la contamination a diminué quelque peu selon l'analyse de carottes de sédiments.

SéDIMENTS

MOUVEMENTS DES SÉDIMENTS

Le Fraser charrie des sédiments dans le Pacifique à raison d'une tonne métrique (1 000 kg) toutes les deux secondes, masse qui équivaut chaque jour à celle du Titanic. Et, les années où le débit du fleuve est élevé, les volumes déplacés peuvent doubler. Vus des airs, ces sédiments, qui sont en suspension dans l'eau, forment un panache de couleur brune qui émerge des bras du Fraser et traverse le détroit de Géorgie. Les sédiments qui ne sont pas parvenus jusqu'à l'océan (du moins pas encore) se sont déposés et ont peu à peu rempli le large lit fertile de la vallée du bas Fraser et se sont étalés pour former le delta (la plaine inondable) et l'estuaire (les passages balayés par les marées).

Dans tout le bassin hydrographique, le lit des ruisseaux et des rivières se forme par affouillement et reçoit des sédiments, qui consistent en des particules de sable grossier, de limon fin, d'argile lisse et de matières organiques. Ces particules en suspension dans l'eau sont entraînées vers l'aval sur des distances variant selon leur taille, puis se déposent, les plus lourdes en premier. Par la suite, quand le débit des cours d'eau augmente, elles peuvent être soulevées et transportées de nouveau. Les courants, qui créent de l'affouillement et des turbulences, façonnent le fond et les rives des cours d'eau selon le niveau d'eau et la vitesse des courants. La majeure partie des sédiments fins est emmagasinée au gré des saisons dans le lit des cours d'eau et dans les barres de sable le long des rives sur presque toute la longueur de ceux-ci. Ensuite, pendant les saisons où le débit est exceptionnellement élevé,

des quantités de sédiments accumulées depuis plusieurs années peuvent être charriées.

Dans l'estuaire du fleuve, tous les sédiments ne sont pas transportés vers l'aval. Au cours de travaux menés dans le cadre du PAF, des scientifiques ont observé un mouvement des sédiments vers l'amont sous l'effet des marées dans certains cours d'eau. Ainsi, un flux net de sédiments vers l'amont de la rivière Pitt a produit un delta orienté dans le sens inverse du courant à la sortie du lac Pitt. Dans certaines zones où l'on a pratiqué le dragage (par exemple, dans le passage Queen, près de New Westminster, et le bras Main, aux environs de la passe Steveston et de la jetée du même nom), des scientifiques affirment avoir décelé des signes d'un retour vers l'amont de certaines quantités de sédiments libérées au cours des travaux. Cela viendrait appuyer la théorie générale selon laquelle la configuration des dépôts de sédiments au fond des cours d'eau atteint l'état d'équilibre au fil du temps et tend à se rétablir lorsque ces dépôts sont perturbés. Certains observateurs soutiennent que l'utilisation pour la construction de sédiments sableux mis au jour par le dragage pourrait effectivement contribuer à l'épuisement du delta en sédiments.

L'estuaire du Fraser a été formé, et s'est maintenu dans le passé, grâce au dépôt continu de limon attribuable à l'interaction entre le courant du fleuve et les courants de marée. Or, ce processus naturel a été limité et a peut-être même pris fin. Des études montrent que les digues, les jetées de

dérivation et le dragage ont eu pour effet de modifier le cours des bras du fleuve et de réorienter l'écoulement de l'eau et le transport des sédiments. C'est seulement dans le passage Canoe, un chenal trop petit pour avoir été touché et qui représente seulement 5 % du flux total du fleuve, que les processus deltaïques naturels peuvent encore être observés. Les couches sédimentaires des battures des hauts-fonds Roberts et Sturgeon montrent des signes d'appauvrissement. Les signes d'érosion aux environs des gares maritimes Westshore et Tsawwassen laissent appréhender les menaces auxquelles les installations sont exposées à longue échéance.

Terminal maritime Westshore, à Roberts Banks

TRANSPORT DE CONTAMINANTS

Outre les modifications physiques de grande échelle que le transport de sédiments fait subir aux habitats des rives, du delta et de l'estuaire, c'est principalement le transport de polluants qui préoccupe les responsables du PAF. Beaucoup de contaminants adhèrent aux particules de sédiments et sont donc transportés par ceux-ci. Lorsque ces sédiments se déposent et forment peu à peu des couches stables de grande épaisseur, au fond des lacs et de l'océan par exemple, ils finissent par emprisonner les contaminants qui y adhèrent et les retirent de la biosphère, de sorte que les carottes prélevées par les scientifiques permettent de retracer l'histoire des dépôts. Toutefois, quand ils subissent l'affouillement et se déplacent, ces sédiments transportent les contaminants avec eux.

Les dépôts de sédiments dans les cours d'eau sont de bons indicateurs de l'exposition récente aux contaminants, en particulier ceux qui ne se dissolvent pas dans l'eau. Les sédiments sont même parfois considérés comme de meilleurs indicateurs de la pollution que les poissons ou d'autres animaux à cause du caractère prévisible de leurs mouvements dans l'eau.

Les dépôts de sédiments dans les cours d'eau sont de bons indicateurs de l'exposition récente aux contaminants

Au lieu d'être emprisonnés dans les couches qui se forment lentement au fond, les contaminants qui adhèrent aux sédiments déposés peuvent s'introduire dans la chaîne alimentaire. Les couches supérieures de sédiments sont les lieux d'élection des algues et des bactéries, dont se nourrissent des organismes benthiques (qui vivent sur les fonds aquatiques), tels les mollusques, les vers et les larves d'insectes, qui sont à leur tour la proie de poissons et d'oiseaux. Dans cette chaîne, les contaminants entrent dans les tissus des animaux, où certains s'accumulent et sont soumis à une bioamplification à chaque niveau. Selon les scientifiques, ces organismes benthiques sont d'excellents indicateurs des perturbations subies par l'environnement.

À moins qu'ils produisent des effets toxiques directs et aigus, les polluants causent plus de dommages en s'introduisant dans la chaîne alimentaire, où ils s'accumulent dans les organismes vivants, qu'en demeurant en suspension dans l'eau. Les sédiments contaminés constituent le

chemin par lequel les polluants qui se trouvent dans l'eau entrent dans cette chaîne et, donc, dans les tissus des poissons et des oiseaux (et des êtres humains) à des concentrations dangereuses. C'est pour cette raison que la tendance qu'ont les sédiments à se déposer ou à demeurer en suspension a suscité un grand intérêt chez les scientifiques.

Étant donné que les grosses particules se déposent plus rapidement que les petites et que ces dernières demeurent en suspension plus longtemps à cause de leur dynamique, tout facteur favorisant la présence de grosses particules accroît les taux de dépôt. Un de ces facteurs est la tendance des particules à s'agglutiner (floculation), auquel cas celles-ci gagnent en poids plutôt qu'en volume. Des études ont montré que les effluents des usines de pâtes contiennent des substances qui favorisent la floculation. Les échantillons de sédiments en suspension prélevés en amont de certaines de ces usines présentaient une plus grande proportion de particules uniques tandis que ceux prélevés en amont présentaient une plus grande proportion de particules agglutinées. Ces dernières avaient plus de chances de se déposer plus rapidement au fond, surtout quand les débits étaient faibles, en hiver. Des analyses en laboratoire ont révélé que la floculation peut accroître le taux de dépôt de 30 %. Par conséquent, non seulement les effluents des usines de pâtes introduisent des polluants dans les cours d'eau, mais, en favorisant la floculation, ils aident ces polluants à s'introduire dans les organismes benthiques.

EC AQUATICS SECTION

Une centrifugeuse employée pour l'étude des sédiments

ORGANISMES BENTHIQUES

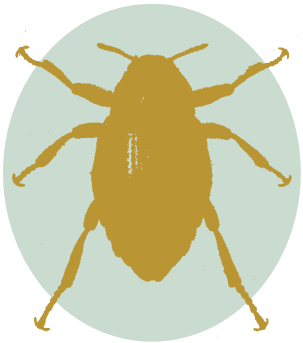
Les animaux qui vivent dans les couches sédimentaires tapissant le fond des lacs et des cours d'eau sont des vertébrés (qui ont une colonne vertébrale) et des invertébrés (dépourvus de colonne vertébrale). À leur tour, les invertébrés peuvent être divisés arbitrairement en macro-invertébrés (de grande taille) et en micro-invertébrés (de petite taille); les animaux qu'on ne peut voir à l'œil nu (qui mesurent moins de 0,4 mm) sont considérés comme entrant dans cette dernière catégorie. Ce sont les macro-invertébrés qui se sont révélés le plus utiles aux équipes de travail du PAF, car il était facile de les capturer au filet, de les identifier et de les dénombrer. Le spectre couvert par cette catégorie va des palourdes et des écrevisses jusqu'aux coléoptères et aux larves d'insectes ressemblant à des vers et à des punaises. Les scientifiques ont également utilisé des algues et des bactéries, qui forment des groupes ou des colonies visibles.

LES ORGANISMES BENTHIQUES, INDICATEURS DE L'ÉTAT DE L'ENVIRONNEMENT

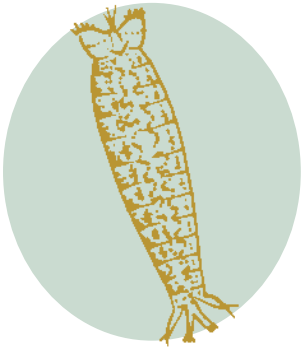
Les organismes benthiques sont un important point d'entrée des contaminants dans la chaîne alimentaire. Puisqu'ils ne se déplacent pas comme les poissons, ils peuvent représenter les conditions à un endroit donné. Ils seraient des indicateurs utiles de l'exposition à la pollution si ce n'était qu'il est difficile de recueillir le grand nombre d'organismes nécessaire pour constituer un échantillon fiable.

Néanmoins, les scientifiques ont mis au point deux méthodes novatrices permettant d'utiliser les organismes benthiques comme indicateurs de l'état de l'environnement. La première repose principalement sur l'abondance relative de macro-invertébrés. Des recherches extensives leur ont permis d'élaborer un modèle de la composition théorique des espèces d'une communauté en bon état dans des conditions spécifiques, comme la taille des roches, la largeur, le débit et le gradient du cours d'eau, l'altitude ainsi que la conductivité et l'acidité de l'eau. Grâce à ce modèle, les chercheurs peuvent mesurer ces conditions à un endroit donné et prévoir le nombre relatif d'espèces dans l'hypothèse où la communauté est en bonne santé. Ceux-ci peuvent prélever des échantillons de sédiment de fond à un endroit donné et compter le nombre d'espèces et d'individus qu'ils contiennent. Les écarts entre le nombre prévu et le nombre réel d'espèces indique les perturbations qui se sont produites à l'endroit en question, telles que l'existence de polluants dans l'eau et les sédiments.

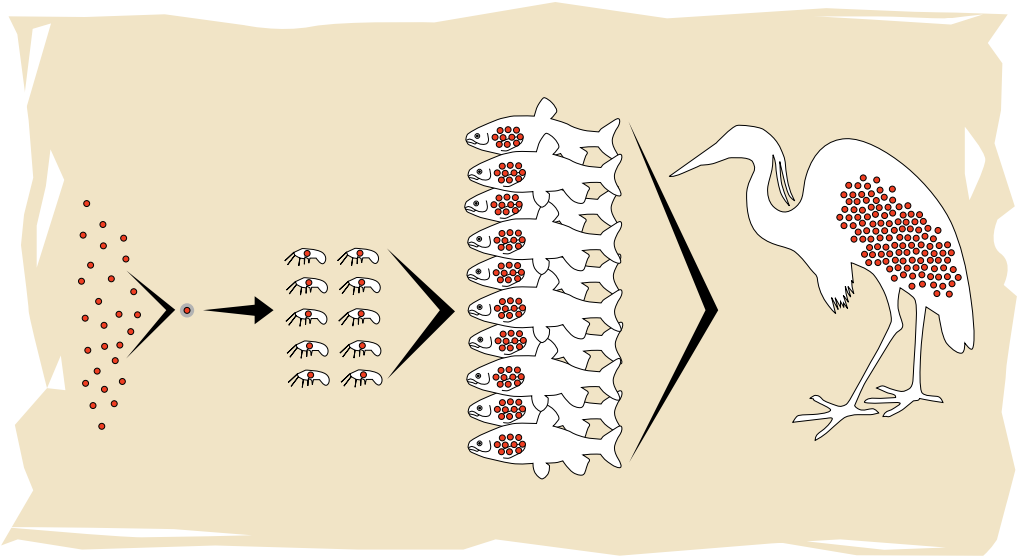
Les organismes benthiques sont un important point d'entrée des contaminants dans la chaîne alimentaire



Ainsi, un examen de nombreux sites du bassin du Fraser à l'aide de ce modèle a permis de déceler des signes de perturbation des communautés benthiques à cinq endroits. Les scientifiques ont pu de la sorte poser des hypothèses quant aux causes probables des perturbations. Dans le ruisseau Guichon, dans le bassin de la rivière Thompson, la cause probable était le drainage des eaux de mines. Dans la rivière Salmon, près du bras du même nom, les perturbations ont été attribuées à des activités agricoles. Enfin, à des sites des bassins hydrographiques des rivières Bowron, Torpy et Tyaughton, elles étaient liées à l'effet négatif de l'exploitation forestière.



La deuxième méthode de mesure de la pollution repose sur une démarche expérimentale faisant appel à un dispositif appelé mésocosme (qui signifie littéralement « univers de moyenne grandeur »). Le mésocosme, qui est essentiellement un cours d'eau créé artificiellement dans un réservoir, permet d'exposer directement des organismes prélevés sur le fond de cours d'eau à des effluents ayant différentes concentrations contrôlées de contaminants. Après trois semaines d'exposition, ces organismes sont retirés du mésocosme, identifiés, dénombrés et pesés. Les données ainsi obtenues sont comparées à celles d'un ensemble parallèle d'organismes provenant du même échantillon (l'échantillon de départ ayant été séparé en deux) qui ont été placés dans un groupe témoin dans un autre mésocosme et exposés à de l'eau tirée directement du cours d'eau



Les pollutants se concentrent à mesure qu'on avance dans la chaîne alimentaire.

d'origine des organismes. Les différences quant aux espèces, au nombre d'individus et au poids total (biomasse) entre le groupe témoin et le groupe d'organismes exposés aux effluents indique les effets des effluents à diverses concentrations sur le taux de survie et de croissance des organismes. On peut également utiliser le mésocosme pour déterminer comment différentes concentrations de contaminants dans les effluents influent sur la vitesse de croissance de colonies d'algues et de bactéries fixées sur des roches non polluées.

Dans le cadre du PAF, on a installé huit mésocosmes (réservoirs) et la tuyauterie connexe sur une plate-forme de camion, qu'on pouvait ainsi déplacer là où on en avait besoin. De cette façon, on a pu analyser les effets d'effluents industriels, par exemple, à des degrés de dilution divers. Les expériences menées avec les mésocosmes ont servi à montrer les effets de la dilution sur l'effluent normal d'usines de pâtes. Quand le ratio effluent-eau en pourcentage est de 1 à 3 %, c'est-à-dire le taux de dilution observé dans des conditions de faible écoulement, la biomasse benthique présente un taux de croissance inhabituel par rapport à la population témoin. Quand ce ratio s'établit à environ 3 %, le taux de croissance redescend à un niveau normal. Quand il est d'au moins 5 %, les symptômes des effets toxiques commencent à se manifester.

Gauche–Agrandissement d'un invertébré benthique : corise

Bien qu'on puisse utiliser des organismes benthiques pour déceler et mesurer la contamination par ces méthodes, celles-ci ne permettent pas de déterminer quels contaminants sont en cause. Toutefois, la surveillance étroite de variables comme la concentration d'oxygène dissous, l'acidité, la température et la concentration de certains contaminants, peut aider les scientifiques à cerner avec plus de précision les différentes possibilités.

mésocosme

NHRI

Un mésocosme en activité.

EC AQUATICS SECTION

POISSONS

ESPÈCES ET DISTRIBUTION

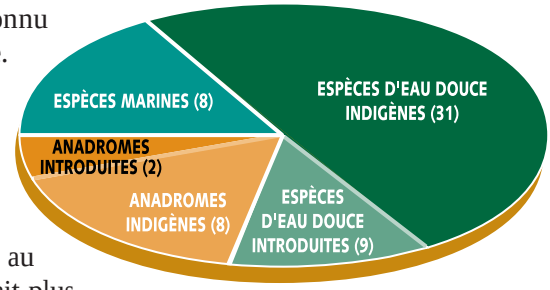
La plupart des recherches sur les poissons menées dans le bassin du Fraser ont été limitées à des saumons et à des truites, espèces importantes pour la pêche commerciale et sportive. Comme on connaissait peu de choses sur les autres espèces de poissons résidents, un projet du PAF visait à rassembler les mentions publiées et non publiées pour constituer un atlas montrant la distribution de toutes les espèces du bassin.

La moitié des espèces ont disparu du ruisseau Wright à proximité de Prince George

Selon cet atlas, le bassin hydrographique du Fraser accueille au total 58 espèces de poissons, dont 40 espèces d'eau douce (31 indigènes et 9 introduites), 10 espèces anadromes (8 indigènes et 2 introduites) et 8 espèces marines qui entrent dans le fleuve régulièrement. Huit espèces ne sont observées qu'en aval du canyon Fraser, et 7 espèces en amont de celui-ci seulement (dont certaines ne se rendent qu'à l'embouchure de la rivière Bowron, après la courbe à partir de Prince George). Seulement 10 espèces sont présentes à la grandeur du bassin : le ménomini de montagnes et le méné deux-barres (choisis comme indicateurs en partie à cause de leur grande distribution), l'esturgeon blanc et des espèces de truites et de saumons.

Au cours des 30 dernières années, les scientifiques ont découvert des signes de la baisse de l'effectif de certaines espèces dans certaines zones du bassin. Une étude a permis de conclure que, des années 60 aux années 90, la moitié des espèces ont disparu dans le ruisseau Wright, un tributaire de la rivière Salmon, près de Prince George, et que ces espèces avaient besoin pour vivre d'eau claire et fraîche. D'autres études ont révélé des réductions comparables du nombre d'espèces dans les tributaires du cours inférieur du Fraser et probablement aussi dans le réseau de la rivière Thompson. On croit que ces pertes sont dues en partie à la surpêche, mais que la dégradation des habitats et l'exposition à des contaminants étaient plus souvent les principales causes.

Bien qu'on n'ait relevé la disparition d'aucune espèce dans le Fraser même, certaines espèces sont en péril. Ainsi, l'effectif de l'eulakane (poisson-chandelle) et de l'esturgeon blanc a connu une forte baisse. L'esturgeon est désigné vulnérable par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada et ne fait plus l'objet d'une pêche commerciale. De même, la population du meunier de Salish a tellement chuté que l'espèce est considérée par ce comité comme en danger de disparition.



LES CONTAMINANTS CHEZ LES POISSONS

Le ménomini de montagnes et le méné deux-barres ont été sélectionnés comme les principaux poissons indicateurs aux fins de la recherche sur les contaminants. On retrouve ces poissons partout dans le bassin, et ils vivent assez longtemps pour accumuler des quantités mesurables de polluants; ils se nourrissent surtout d'organismes benthiques, et, habituellement, le ménomini de montagnes recherche toujours sa nourriture aux mêmes endroits pendant l'été.

Les études menées dans le cadre du PAF ont soulevé maintes interrogations. Et les scientifiques n'ont pu établir un rapport clair entre l'état des poissons et l'exposition aux contaminants pour montrer les effets néfastes de ces substances. La condition et la taille des ménominis et des ménés examinés étaient maximales pour leur âge dans les rivières Nechako et Thompson ainsi que dans le bas Fraser. Toutefois, les poissons vivant à ces deux derniers endroits sont exposés à certains des niveaux cumulatifs de contaminants les plus élevés du bassin. Les chercheurs attribuent le bon état des poissons dans ces tronçons au fait qu'ils ont accès à de meilleures sources de nourriture parce que la température de l'eau y est plus élevée, et aussi que l'eau est plus claire dans la Nechako et la Thompson.

Les évaluations de l'état de santé des poissons étaient encore moins concluantes. Pendant trois ans, soit de 1994 à 1996, on a analysé des poissons à l'aide d'un indice d'évaluation de la

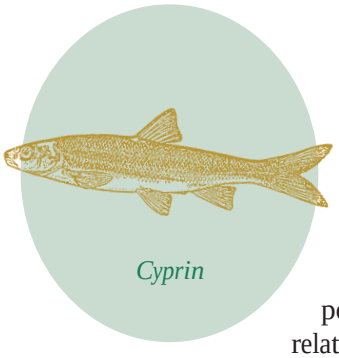
ON DÉCOUVRE CONSTAMMENT DE NOUVEAUX CONTAMINANTS

Le méné deux-barres fréquente tous les cours d'eau du bassin du Fraser. Les équipes de recherche du PAF l'ont choisi, tout comme le ménomini de montagnes, comme indicateur de la contamination dans ces cours d'eau. L'examen de ménés deux-barres femelles prélevés dans le cours inférieur du fleuve a permis de déceler la présence d'une protéine du sang appelée vitellogenine, qui indique l'existence d'hormones femelles. Or, on a également trouvé de la vitellogenine chez des poissons mâles prélevés dans les mêmes eaux. Les chercheurs ont dont supposé qu'une substance chimique ressemblant à l'oestrogène induit la production de vitellogenine chez les mâles.

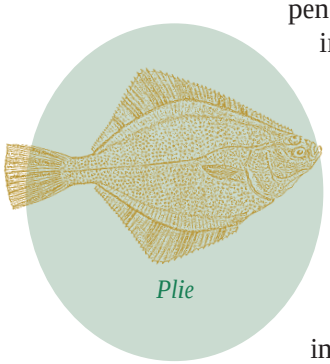
Les scientifiques ont conclu que les poissons étaient exposés à des produits chimiques perturbateurs du système endocrinien (PPSE) qui peuvent exacerber ou contrer l'effet d'hormones naturelles essentielles au déroulement de nombreuses fonctions corporelles chez les poissons et les autres animaux. On craint que ces produits puissent causer le cancer, réduire la fertilité et produire des anomalies congénitales.

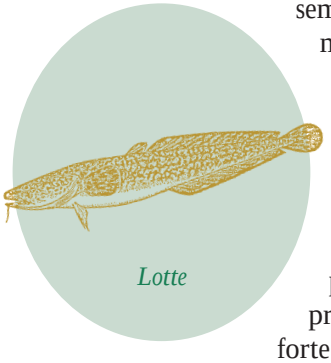
On a remonté la filière des PPSE jusqu'à des pesticides comme le DDT, des additifs qui assouplissent et amollissent les plastiques, des agents mouillants utilisés dans des détergents pour accroître le pouvoir de pénétration de l'eau dans les tissus, et des oestrogènes naturels et synthétiques comme ceux qu'on trouve dans les pilules anticonceptionnelles. Les PPSE sont très répandus et ils peuvent produire des effets à de très faibles concentrations.

Les ménés deux-barres mâles prélevés dans l'estuaire du Fraser en juillet 1996 présentaient des concentrations de vitellogenine quatre fois plus supérieures à celles mesurées chez les individus capturés ailleurs dans le bassin. Pourtant, les poissons capturés dans l'estuaire deux mois plus tard ne présentaient pas des concentrations élevées de cette protéine.


Cyprin

santé composé d'un ensemble de mesures de certaines caractéristiques, telles que la pigmentation du foie. On a relevé d'importantes variations à cet égard; là encore, cet indice composite n'a pas permis d'établir de relation constante entre l'exposition aux contaminants et l'état de santé. Une étude menée en 1993 et en 1994, pendant laquelle on a utilisé cet indice, a révélé une forte incidence d'anomalies chez des poissons du bas Fraser, qu'on a attribuées à l'effet d'activités humaines. Toutefois, des recherches dépendant du PAF au cours desquelles on a utilisé des données semblables mais couvrant une région plus étendue, n'ont pas indiqué une incidence plus marquée d'anomalies dans ce tronçon du fleuve que dans d'autres parties du bassin. Les anomalies sont communes, mais elles semblent être distribuées uniformément : elles sont aussi fréquentes en amont qu'en aval des grands centres urbains. Les chercheurs estiment qu'elles sont probablement causées par des facteurs autres que la pollution, notamment des conditions physiques existant dans le cours principal du fleuve (débit élevé, forte concentration de sédiments en suspension dans l'eau) ou des cycles d'infection par des parasites.


Plie


Lotte

Une observation pourrait être liée à la contamination : les poissons qu'on trouve en aval des usines de pâtes de Woodpecker et de Marguerite possèdent des organes fortement pigmentés, ce que confirme une étude semblable effectuée dans le fleuve Columbia.

Ménomini de montagnes

Des recherches parrainées par le PAF indiquent que, depuis les années 70 et 80, les concentrations dans les tissus de poissons de certains contaminants dont on s'est occupé ont diminué. Parmi ceux-ci, on retrouve les BPC (dont l'utilisation est interdite), le plomb (supprimé de l'essence), l'arsenic (à la suite de la fermeture d'une fonderie de cuivre à Tacoma) et le mercure (à la faveur de modifications de procédés industriels). En outre, des modifications apportées à la composition des effluents des usines de pâtes ont entraîné la baisse des concentrations de dioxines et de furannes.

Cyprin EC AQUATICS SECTION

Pourtant, selon les symptômes observés, des poissons sont probablement encore exposés à des contaminants. Par exemple, on a décelé des signes de stress dû à des contaminants lors de mesures des concentrations d'oxygénases à fonction mixte (OFM) produites dans le foie de poissons pour l'élimination de substances chimiques organiques toxiques. Chez le méné deux-barres et le ménomini de montagnes, ces concentrations étaient directement proportionnelles aux teneurs en substances chimiques organiques toxiques des tissus des poissons et des sédiments où l'on a trouvé les poissons. On n'a toutefois pu attribuer la production d'OFM à un produit chimique en particulier, bien que la corrélation entre les concentrations d'OFM et la présence de traces de dioxines, de furannes et de BPC chez le ménomini de montagnes ait été jugée statistiquement fiable. Néanmoins, la production d'OFM dans le foie de poissons est un signe avant-coureur de l'exposition aux contaminants organiques dans l'environnement. Et c'est exactement ce qu'on observe dans le bassin du Fraser.

Des produits chimiques d'usage industriel sont, à n'en pas douter, très toxiques à certains stades du cycle biologique de certaines espèces. Le CDDA, qu'on utilise depuis peu comme ingrédient de produits anti-coloration (antifongicides servant à prévenir la décoloration du bois fraîchement débité), se révèle très toxique aux premiers stades de la vie de l'esturgeon (chez les alevins de 40 à 60 jours); toutefois, d'autres espèces, telles que le flet étoilé, commun dans l'estuaire du Fraser, en sont beaucoup moins affectées. Le cheminement suivi par les polluants exercent cependant une influence sur l'exposition des différentes espèces. Pendant les périodes de fort débit, le CDDA disparaît très rapidement

Des produits chimiques d'usage industriel sont, à n'en pas douter, très toxiques à certains stades du cycle biologique de certaines espèces

de l'eau car il se fixe facilement aux particules. Dès lors, ce composé peut être toxique pour certains organismes dans certains secteurs de l'estuaire parce qu'il s'accumule dans les sédiments qui s'y sont déposés. On poursuit l'étude de la toxicité des sédiments exposés au CDDA.

Le CDDA est un exemple des défis constants que posent les progrès technologiques. Ce composé était considéré comme un substitut beaucoup moins toxique du PCP (pentachlorophénol), produit anti-coloration traditionnellement utilisé. De plus, le coût bien supérieur du CDDA présentait l'avantage de favoriser sa conservation et sa réutilisation et, donc, de réduire de beaucoup les rejets dans l'environnement. Toutefois, ce nouveau produit commence à inquiéter depuis que des scientifiques ont commencé à étudier ses effets de plus près. Par exemple, on

RALF BÜRGLIN

Vestige des temps les plus reculés, l'esturgeon se retrouve dans toutes les régions du Fraser. Il peut vivre jusqu'à cent ans et peut atteindre une taille de six mètres.

n'a pas suffisamment étudié le CDDA pour pouvoir établir des normes sur ses concentrations dans les sédiments.

On accorde beaucoup d'attention à l'évaluation de la toxicité du CDDA dans le bas Fraser, où ce composé est surtout utilisé. L'industrie du bois de sciage est très préoccupée par l'éventuel resserrement des restrictions concernant l'usage d'un produit chimique dont elle a grandement besoin. De nombreux intervenants attendent avec impatience les résultats de la suite des analyses de toxicité du CDDA, qui occupe le troisième rang des pesticides en Colombie-Britannique quant au niveau d'utilisation.

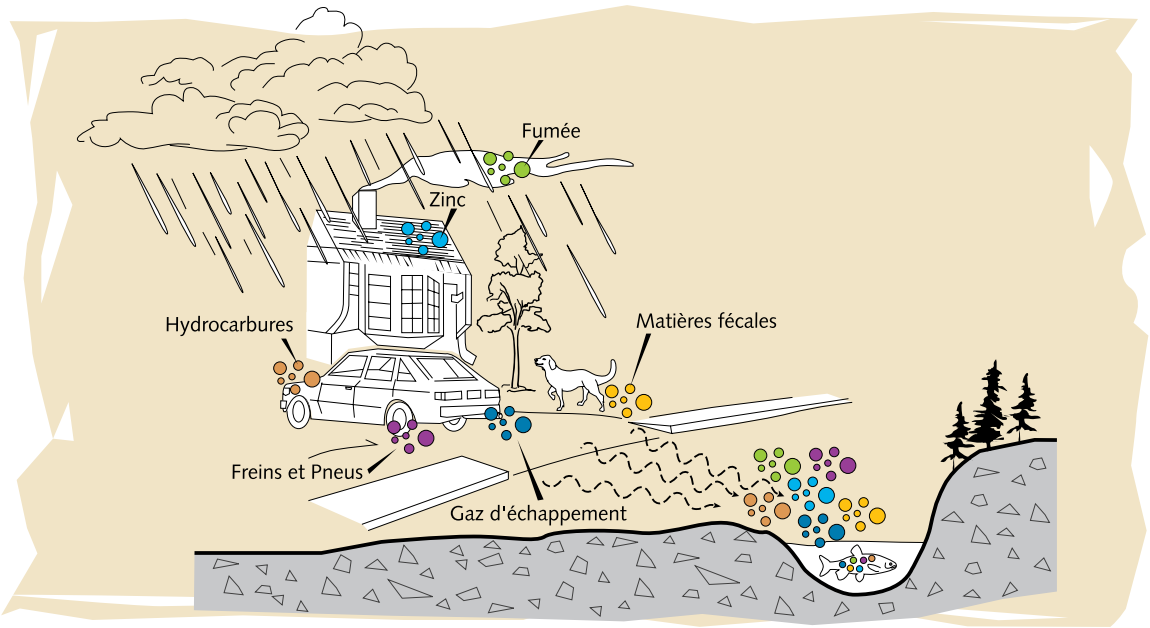
SOURCES DE POLLUTION

Les résultats des études menées par les équipes du PAF semblent indiquer que la pollution dans le réseau hydrographique du Fraser est causée en majeure partie par les eaux de ruissellement urbaines, l'agriculture et l'industrie forestière.

EAUX DE RUISSELLEMENT URBAINES

Dans les villes, les surfaces revêtues et les toits recueillent les précipitations et les déversent dans les égouts pluviaux, qui les acheminent vers les cours d'eau. En cours de route, l'eau de pluie et la neige deviennent les hôtes des contaminants provenant des gaz et des poussières qui se trouvent dans l'air, les gouttières ainsi que sur les toits et les voies de circulation et les transportent, en particulier à l'occasion des premières précipitations suivant une période sèche.

Cette pollution réduit la qualité des eaux des lacs et des cours d'eau des zones urbaines. Parmi les contaminants en cause, on compte souvent des coliformes (bactéries fécales), des métaux et un grand nombre de composés du carbone résultant de l'utilisation de combustibles fossiles par les véhicules à moteur, les chaudières, les poêles barbecue, etc. Pendant les chutes de pluie, on mesure de fortes concentrations de dioxines, de furannes, d'HAP et de métaux dans les cours d'eau et les sédiments en suspension dans l'eau en milieu urbain. Les HAP et les métaux qui se déposent par voie atmosphérique sont également entraînés dans les cours d'eau par les pluies. Pendant les orages, la teneur de l'eau en cuivre, en zinc et parfois en plomb dépasse souvent les limites maximales correspondant aux objectifs de qualité de l'eau.



L'étude de couches de sédiments composant des carottes prélevées dans le lac Burnaby, dans le bassin hydrographique urbain de la rivière Brunette, a permis à des équipes de chercheurs du PAF de constater le recul de certaines formes de contamination. Ainsi, les charges de BPC et de DDT ont diminué depuis les maximums enregistrés dans les années 50 et 60. De même, les concentrations de plomb chez les poissons et dans les sédiments ont chuté par rapport aux années 70 et au début des années 80; cette diminution coïncide avec l'élimination progressive du plomb dans les essences.

EC AQUATICS SECTION

La qualité des lacs et des cours d'eau des zones urbaines se dégrade en raison de la pollution qui y est déversée

Les espèces qui vivent au fond des lacs et des cours d'eau du bassin de la rivière Brunette tendent à être moins sensibles que d'autres à la contamination par les métaux lourds, ce qui indique que la toxicité des métaux fait des ravages chez les espèces sensibles et modifie la composition des communautés aquatiques.

Dans le bassin de la rivière Brunette, où la circulation automobile est dense, la plupart des polluants proviennent des véhicules à moteur. Bien que la situation se soit améliorée, notamment depuis l'interdiction de l'essence au plomb, les stress urbains continuent de se faire sentir. Selon les prévisions, la population devrait connaître une forte expansion et l'utilisation des véhicules motorisés devrait s'accroître encore davantage dans toute la région. Même la qualité de l'eau du Fraser lui-même subit les effets négatifs du développement urbain, comme en témoignent les concentrations élevées d'HAP qu'on mesure dans l'eau, dans les sédiments et chez les poissons de l'estuaire.

AGRICULTURE

Les scientifiques ont trouvé des signes indiquant que les pratiques agricoles affectent la qualité de l'eau dans la rivière Sumas et ses tributaires, dans la vallée du bas Fraser. Dans les eaux de surface, ils ont mesuré de faibles quantités d'oxygène et de grandes quantités de nitrates, d'ammoniac, de phosphore et de coliformes. Ils y ont également mesuré d'importantes concentrations de zinc et de cuivre, qui provenaient probablement d'aliments pour les porcs. Quant aux eaux souterraines, elles avaient une forte teneur en nitrates. Les œufs de grenouille n'éclosaient pas en certains endroits dans le bassin central de la Sumas même si l'habitat y semblait acceptable.

Au sud, on a décelé des sédiments toxiques à la frontière canado-américaine, mais sans pouvoir en attribuer la cause avec certitude aux pratiques agricoles. En effet, l'usine d'épuration des eaux d'égout de Sumas, dans l'État de Washington, déverse ses eaux dans la région, et les grandes concentrations de nickel et de chrome qui y sont mesurées sont d'origine géologique.

INDUSTRIE FORESTIÈRE

Des baisses considérables des concentrations de dioxines et de furannes sont enregistrées depuis les années 80, à l'époque où l'industrie des pâtes et papiers a commencé à modifier ses procédés de blanchiment, sous la pression du public et devant le resserrement de la réglementation. Et les baisses des concentrations de produits anti-coloration et de produits de préservation du bois à haut rendement utilisés par l'industrie du bois de sciage sont presque aussi importantes.

Les travaux de surveillance effectués dans le cadre du PAF montrent que l'effet sur le Balbuzard pêcheur des contaminants rejetés par les usines de pâtes a diminué. De 1992 à 1997, l'écart entre le nombre de juvéniles de l'espèce en amont des usines et le nombre enregistré en aval s'est rétréci au point où l'on ne peut mesurer la différence.

La qualité des effluents est beaucoup mieux, mais elle peut être encore améliorée.

Bécasseau BRETT SANDERCOCK

POLLUTION DANS L'ESTUAIRE DU FRASER

Des chercheurs ont étudié l'écologie de la zone d'estran du delta, c'est-à-dire les hauts-fonds Sturgeon et Roberts, pour y trouver des indicateurs de l'exposition à des contaminants et déterminer l'état de santé du haut-fond Sturgeon. Jusqu'en 1988, le principal émissaire d'évacuation des eaux d'égout de Vancouver (raccordé à l'usine d'épuration de l'île Iona) déversait celles-ci sur les battures, ce qui causait évidemment des perturbations.

Depuis que l'émissaire d'évacuation des eaux de l'île Iona a été prolongé dans le détroit au-delà de l'estuaire, le haut-fond Sturgeon a repris son état initial. La vie a repris son cours antérieur à l'ancien point de chute de l'émissaire. La densité des populations d'invertébrés augmente et la composition des communautés d'algues s'est transformée : les algues bleu-vert ou vertes (qui traduisent habituellement un état de pollution)

LE BÉCASSEAU VARIABLE

Les vastes battures qui relient l'île Iona et la baie Boundary, dans l'estuaire du Fraser, constituent un habitat essentiel pour des millions d'oiseaux de rivage migrateurs et hivernants qui se nourrissent d'invertébrés marins. La composition du régime alimentaire de ces oiseaux et la façon dont ils se nourrissent sont des facteurs primordiaux de leur survie et du succès de leur reproduction. Or, on connaît encore peu de choses sur leurs habitudes alimentaires.

Le Bécasseau variable, un oiseau migrateur qui passe la moitié de l'année dans le delta du Fraser, semblait être un indicateur possible des effets de l'exposition aux contaminants sur les bancs de sable. Des équipes de recherche du PAF ont observé les habitudes alimentaires de ce petit oiseau au long bec épais.

Le Bécasseau variable cherchait sa pâture jour et nuit, comme les chercheurs s'y attendaient. Toutefois, ceux-ci ont été surpris de constater qu'après le coucher du soleil, il délaissait souvent les battures pour gagner des champs agricoles voisins, dont les faucons les tenaient peut-être éloignés durant le jour. Peut-être était-ce aussi que le bécasseau trouvait dans les champs une nourriture très prisée. Les scientifiques ne savent pas encore pourquoi.

Qui plus est, ils ont observé que, sur les battures, le Bécasseau variable capture des proies qui se trouvent à un niveau plus bas de la chaîne alimentaire qu'ils le croyaient, de sorte qu'il pourrait être très peu exposé aux contaminants.

Les scientifiques estiment qu'il faut étudier davantage l'alimentation de cette espèce avant d'utiliser les données pour interpréter les effets de la pollution de l'estuaire.

Dans l'île Iona, l'émissaire d'évacuation a été prolongé en eau profonde.

ont fait place à des diatomées à membrane à coque siliceuse, comme on en retrouve ailleurs sur les battures.

Jusqu'en 1988, le principal émissaire d'évacuation des eaux d'égout de Vancouver déversait celles-ci sur les battures

Les concentrations de métaux dans les sédiments sont demeurées stables ou ont diminué. Des analyses effectuées sur des palourdes du genre Macoma ont révélé une baisse des concentrations de cuivre, de mercure et de zinc. En outre, selon des analyses de sédiments, la teneur en cuivre, en plomb, en argent, en mercure et en cadmium s'est réduite. Bien que les concentrations d'oxygène aient augmenté dans les eaux surjacentes, la teneur en azote sous forme de nitrates et en ammoniac demeure relativement élevée, car les sédiments contiennent encore de grandes quantités de carbone organique.

Les sédiments contaminés continuent de favoriser une prolifération excessive des algues sur le haut-fond Sturgeon, surtout en été. Toutefois, on espère que, grâce à l'apport d'azote, les populations d'algues reviendront à des niveaux « naturels » quand les débordements occasionnels des égouts auront cessé et les matières organiques accumulées depuis 24 ans dans la zone de rejet des eaux usées se seront décomposées.

INDICATEURS DE L'ÉTAT DE L'ÉCOSYSTÈME

Fidèles à un des objectifs du PAF, qui était de déterminer l'état de l'écosystème du bassin du Fraser, les scientifiques devaient sélectionner des indicateurs. Ils se sont principalement intéressés aux effets de la pollution, et leur choix a été influencé en partie par les indicateurs déjà utilisés dans le bassin qui reposaient sur une longue série de données concernant l'exposition aux contaminants. En même temps, ils ont étudié de nouvelles espèces et méthodes d'échantillonnage pour pouvoir s'attaquer à de nouveaux problèmes de pollution et exploiter les technologies les plus récentes.

Les chercheurs ont ainsi recueilli de précieux renseignements sur les avantages et les inconvénients de différentes techniques d'évaluation de l'état de l'écosystème. Ainsi, l'information qu'ils ont obtenus sur l'utilité relative des sédiments, des organismes benthiques, des poissons et des oiseaux comme indicateurs des concentrations de contaminants, et sur la pertinence de certaines populations naturelles en tant qu'indicateurs de l'état de l'écosystème, aideront à orienter les travaux futurs.

EC AQUATICS SECTION

EC AQUATICS SECTION

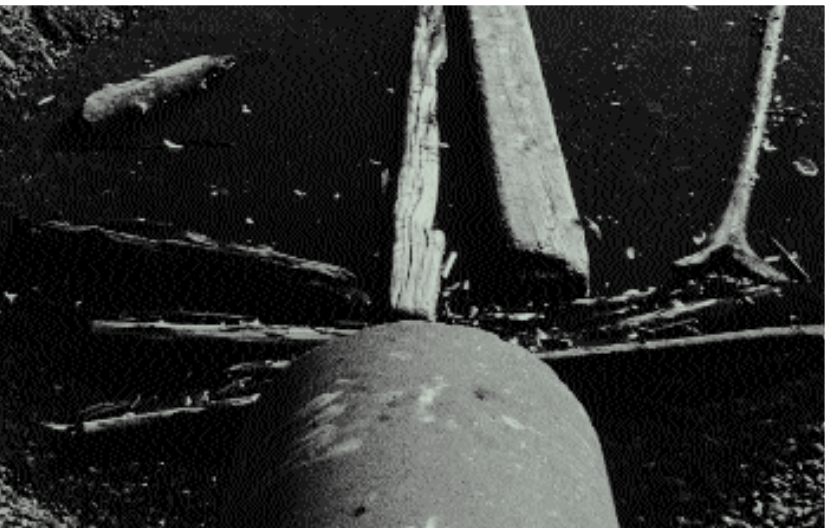
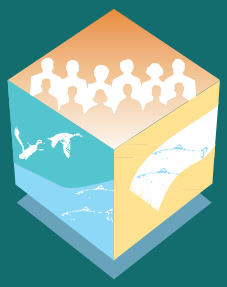
questions issues de la recherche

L'AVENIR

QUESTIONS ISSUES DE LA RECHERCHE

Les recherches menées dans le cadre du PAF ont contribué à résoudre certains problèmes, mais elles ont aussi soulevé d'autres questions concernant la pollution dans le bassin du Fraser auxquelles il faut trouver des réponses. Voici des exemples de ces questions.

- Vu que les eaux de ruissellement urbaines et les sources diffuses deviennent les principales causes de pollution dans le bassin, de quels nouveaux contaminants faut-il s'inquiéter et quel est leur cheminement?
- Qu'est-ce qui cause les anomalies décelées dans la fonction et la pigmentation du foie des poissons?
- À quel point le nouveau fongicide CDDA utilisé dans les scieries est-il dangereux?
- Quelle est l'ampleur des effets des pesticides agricoles encore en usage dans la vallée du bas Fraser?
- Les programmes de gestion des fumiers permettront-ils de remettre en état l'aquifère d'Abbotsford?
- Quelle influence les changements quant au transport des sédiments ont-ils sur le littoral aux environs du Fraser?
- Si la fonte des glaciers et des couvertures de neige s'accélère, quelle sera l'ampleur de la pollution résultante?
- Peut-on préserver la qualité de l'eau des effets de l'expansion urbaine?
- Les substances perturbatrices du système endocrinien font-elles du tort aux poissons?

La recherche aquatique va au-delà de l'étude de contaminants particuliers aux effets apparents; elle s'attache aux effets plus subtils sur l'écosystème de substances chimiques présentes à de faibles concentrations et de combinaisons de diverses substances. Cette recherche plus avancée sera possible parce que la capacité de détection des substances chimiques et la connaissance de leurs caractéristiques, de leur cheminement et de leurs effets s'améliorent.

De plus, le changement climatique pose un autre défi. Ses effets pourraient être appréciables dans un bassin hydrographique montagneux comme celui du Fraser : l'accroissement de la fonte des glaciers pourrait s'accompagner d'une hausse de la pollution; l'altération du flux des sédiments pourrait modifier la configuration des barres de sable et des rives des cours d'eau; l'augmentation du volume des eaux de ruissellement urbaines pourrait contaminer les cours d'eau ou l'irrigation pourrait accroître le stress imposé aux bassins hydrographiques des zones agricoles; la hausse du niveau des eaux pourrait se répercuter sur l'estuaire et le delta du Fraser. Ces changements, combinés aux pressions exercées par l'expansion urbaine rapide, l'intensification de l'agriculture et l'évolution de l'industrie, occuperont les spécialistes des sciences aquatiques pendant les prochaines décennies dans le bassin.