

LE POINT BIOLOGIQUE

volume 4 _ mai 2010

L'EFFONDREMENT
DES COLONIES
D'ABEILLES

DES SAULES
POUR NOS
SOLS

POLLUTION
ÉLECTROMAGNÉTIQUE

DANS LES
GÈNES DU LOUP

BIG BANG
BLOOM!

L'EXPLORATION
MINIÈRE
NORDIQUE

Présenté par les finissantes et
finissants du baccalauréat en
biologie en apprentissage
par problèmes de
l'UQÀM



UQÀM

Accueil et soutien aux projets étudiants
Services à la vie étudiante
Université du Québec à Montréal

Le Point Biologique

Édité par le regroupement des étudiants-es en biologie de l'Université du Québec à Montréal (RÉÉBUQAM)

141 Président-Kennedy, local : Sb-R231

Téléphone : (514) 987-3000, poste 4159

Courriel : reebuqam@gmail.com

Éditeur et rédacteur en chef :

Carl Paquin

Responsable de révision et adjoint rédacteur/éditeur en chef :

Gabriel Bernard Lacaille

Responsable du lancement :

Sarah Benzaid

Rédacteurs : Alexandre Bergeron, Gabriel Bernard-Lacaille, Nathasha Boisjoly, Élyse Caron-Beaudoin, Bernice Chabot-Giguère, Maria E. Caicedo, Maryse Desrochers, Alexandre Fortin, Julie Fradette, Maud Gauvin, Raymond Lanctot, Alexis Latraverse, Tatiana Leclerc, Jérôme Lizotte, Mathieu Lyonnais, Camille Morin, Carl Paquin, Tania Perron, Valérie Plante, Simon Redondo, Fanny Ruckstuhl

Encadrement professoral :

Catherine Mounier et Pedro Peres-Neto

Correcteurs :

Jorys Bolduc et Françoise Memomo

Réviseurs : Sarah Benzaid, Gabriel Bernard Lacaille, Maud Gauvin, Lauwine Hill, Tania Perron, Rachel Pierre, Simon Redondo, Céline Signor

Couverture :

Raymond Lanctot

Mise en page :

Carl Paquin

Conseiller artistique :

Raymond Lanctot

Impression : Repro-UQAM

L'équipe tient à remercier, pour sa collaboration au projet :

Diane Careau

ISSN: 1913-2697

Les textes publiés dans cette revue peuvent être reproduits, copiés, distribués ou modifiés en autant que l'on fasse mention de la source. Par contre, les images ne peuvent être reproduites ou redistribuées. Copyleft Mai 2010

<http://fr.wikipedia.org/wiki/Copyleft>

Pour rejoindre l'équipe de la revue, prière d'écrire au point.biologique@aroy.net

La revue est également disponible en version électronique au :

<http://www.aroy.net/pointbiologique/2010>

Mot de l'éditeur

Avec cette 4e édition, le Point Biologique perpétue la volonté de partage de connaissances instaurée par les éditions précédentes. Cette revue de vulgarisation scientifique est conçue bénévolement par les finissants du baccalauréat en biologie en apprentissage par problèmes de l'UQAM. Elle a pour but de rendre accessibles les connaissances acquises durant ces trois années. Vous y retrouverez les quatre meilleurs articles, ainsi que deux capsules scientifiques, rédigés par nos finissants. Tous ont été choisis par un comité de sélection formé d'élèves et de professeurs. Dans cette quatrième édition, nous ne voulons pas que montrer l'importance que l'on accorde à la diversité biologique, à la santé et à l'environnement, mais également à nos préoccupations sociales.

En espérant que ses articles sauront émerveiller le scientifique en vous.

Au nom de toutes les personnes impliquées, je vous souhaite une bonne lecture !

Carl Paquin, éditeur

Sommaire

2 - Capsule scientifique - Qui s'y frotte ne s'y pique plus :

Le syndrome d'effondrement des colonies d'abeilles.

Découvrez ce qui arrive à la principale pollinisatrice de nos fruits et légumes

3 - Se jeter dans les gènes du loup!

Les loups gris de Yellowstone

La réintroduction du loup dans le parc national de Yellowstone

11 - Pollution électromagnétique :

Dans un champ près de chez vous ?

L'histoire d'un couple se questionnant sur les risques engendrés par une future ligne à haute tension près de leur domicile.

15 - BING, BANG... BLOOM

L'impact d'une algue toxique

Enquête sur un bloom survenu en août 2008 ayant fait plusieurs centaines de victimes animales

21 - Exploitation minière nordique et environnement :

Un compromis en or !

Découvrez l'ingéniosité dont fait preuve l'industrie minière face au climat aride et à l'environnement du Nord canadien, sans oublier leur relation avec les Inuits.

27 - Capsule scientifique - Des saules pour nos sols ?

Voyez comment des plantes, tel le saule, décontaminent nos sols !

QUI S'Y FROTTE NE S'Y PIQUE PLUS :

LE SYNDROME D'EFFONDREMENT DES COLONIES D'ABEILLES

Par : Élise Caron-Beaudoin, Bernice Chabot-Giguère et Natasha Boisjoly

Au rayon des fruits et légumes de l'épicerie, une multitude de choix s'offre à nous. Grâce à qui, ou à quoi, pouvons-nous jouir d'une telle diversité ? : l'abeille domestique. Cependant, une ombre plane sur la relation privilégiée qu'unit l'Homme et l'abeille : en 2007, certains apiculteurs perdent jusqu'à 70% de leurs ruches. Est-ce que la tendance actuelle pourrait mener au pire scénario prédit par Einstein : « si l'abeille disparaît, l'Homme en a pour 4 ans à vivre... » ?

LA DISPARITION DES ABEILLES : JOUENT-ELLE À CACHE-CACHE ?

Richard Paradis, apiculteur de père en fils, s'occupe de ses abeilles avec passion à Ste-Rosalie, en Montérégie. Il a lui-même remarqué une forte baisse de ses effectifs : situation précaire pour son entreprise, mais également pour la survie de cette espèce qu'il chérit. Ce phénomène, qui inquiète la communauté scientifique, est caractérisé par l'abandon de la ruche, des larves et de la reine par les abeilles. Ce comportement est étonnant sachant que cet insecte a une structure sociale très développée. L'épandage des pesticides et la perte d'habitat par les monocultures sont souvent citées comme les causes principales du déclin de l'abeille domestique.

LES PESTICIDES POINTÉS DU DOIGT QUAND LES ABEILLES PIQUENT DU NEZ

La région de Ste-Rosalie a une forte activité agricole qui, pour être maintenue à un tel niveau d'exploit-

ation, nécessite l'utilisation massive de pesticides notamment sur les monocultures de maïs. Puisque M. Paradis élève ses abeilles dans cette région, il est particulièrement interpellé par les effets des pesticides sur ses protégées. Les pesticides utilisés afin de détruire ou contrôler une population de ravageurs agissent comme des neurotoxines : ils perturbent le système nerveux central qui est responsable de la coordination motrice et des réflexes conditionnés aux odeurs liées au butinage. Auparavant, l'épandage aérien de pesticides exposait directement les abeilles à la substance toxique. Aujourd'hui nous faisons face à une nouvelle technologie de pesticides : **l'enrobage de semence**. Cette technique utilise des agents adhésifs afin de recouvrir les graines de pesticides. Qu'en est-il des véritables conséquences sur l'abeille domestique ? Les pesticides en enrobage de semence sont systémiques à la plante. Ces produits sont absorbés par les racines de la plante et se retrouvent dans toutes ses parties tel le pollen, le nectar. L'abeille est donc en contact direct avec le pesticide. Les effets remarquables chez les abeilles intoxiquées sont caractéristiques du syndrome d'effondrement des colonies : un haut taux de mortalité à l'extérieur des ruches. Les abeilles ne peuvent plus s'orienter, ni communiquer entre elles. Lorsque ces facultés sont affaiblies par des substances toxiques, c'est toute la santé de la ruche qui est en danger. Le rôle des pesticides dans la disparition planétaire des abeilles n'est plus à prouver : le contenu de notre assiette risque fort de changer.



LES ABEILLES N'ONT PLUS D'ENDROITS À BUTINER...

L'explosion des monocultures réduit tragiquement la diversité et la qualité alimentaire de l'abeille, qui sont indispensables à son développement et à son activité pollinisatrice. Par exemple, le pollen du maïs est pauvre en lipides et protéines. L'abeille doit donc consommer une unique ressource inadéquate. Actuellement, l'apport des abeilles domestiques à tout ce qui se trouve dans notre frigo est énorme. En effet, il s'agit de 80% des cultures maraîchères mondiales. Un déclin des populations d'abeilles aurait sans contredit un effet dévastateur. Les abeilles domestiques sont indispensables pour le maintien de la biodiversité et elles détiennent une des clés principales du futur de l'humanité. Plus profondément, c'est notre façon de consommer qui est en cause et qui doit être remise en question. Si aucun changement n'est apporté au point de vue écologique et que si l'utilisation actuelle des pesticides persiste, peut-être que le pire des scénarios prédit par Einstein pourrait se réaliser ? ¶

SE JETER DANS LES GÈNES DU LOUP!

LES LOUPS GRIS DE YELLOWSTONE

3

Par : Alexandre Bergeron, Maria E. Caicedo, Maud Gauvin et Mathieu Lyonnais

La diminution et la fragmentation de son habitat naturel ainsi que la proximité avec les humains ont confronté le loup gris à de nouveaux défis. À mesure que l'étau se refermait, le loup fut forcé de se battre contre les hommes pour le territoire et les ressources. Dès lors, il fut perçu comme une grande menace pour les animaux d'élevage. En 1914, le Congrès américain se prononça en faveur de l'élimination de ces animaux nuisibles à l'agriculture et à l'élevage, et octroya des fonds pour l'extermination des loups. Graduellement victime d'une chasse intensive, le loup à l'état sauvage disparut de ces régions. La perte de ce prédateur provoqua des bouleversements de l'équilibre des écosystèmes, permettant, entre autres, à la population de wapitis de croître de manière exponentielle. En 1973, un vote sur l'« Endangered Species Act » relaya le loup au rang des espèces protégées. Entre 1991 et 1994, plusieurs initiatives ont été entreprises en vue de la réintroduction des loups dans quelques États américains. Puis, en novembre 1994, le Congrès adopta une Loi stipulant la réintroduction de loups en provenance du Canada dans les États de l'Idaho et du Wyoming, dont le Parc National de Yellowstone.

Le loup gris (*Canis lupus*) possédait jadis une aire de distribution géographique parmi la plus étendue de tous les mammifères, occupant toute la région circumpolaire de l'hémisphère nord à partir de 15 à 20 °N de latitude. Actuellement, sa distribution mondiale est beaucoup plus restreinte. Cette espèce fut littéralement exterminée à plusieurs endroits, notamment en Amérique du Nord où le loup se retrouvait partout à l'exception du sud des États-Unis. Le Parc National de Yellowstone est situé au nord des Rocheuses américaines et il chevauche les États du Wyoming, du Montana et de l'Idaho. Il est le premier Parc National au monde, mais à l'époque de sa création, en 1872, on n'accordait aucune valeur au rôle des prédateurs au sein d'un écosystème. Les loups étaient accusés de massacrer les troupeaux de wapitis, de bisons, d'originaux et de cerfs que l'on désirait protéger. Les autorités du Parc ont autorisé l'abattage systématique de ces prédateurs et dès 1925, on ne retrouvait aucune population viable de loups dans les environs. Selon les

archives du Parc, le dernier loup aperçu fut tué en 1943 ou 1944.

LA RÉINTRODUCTION

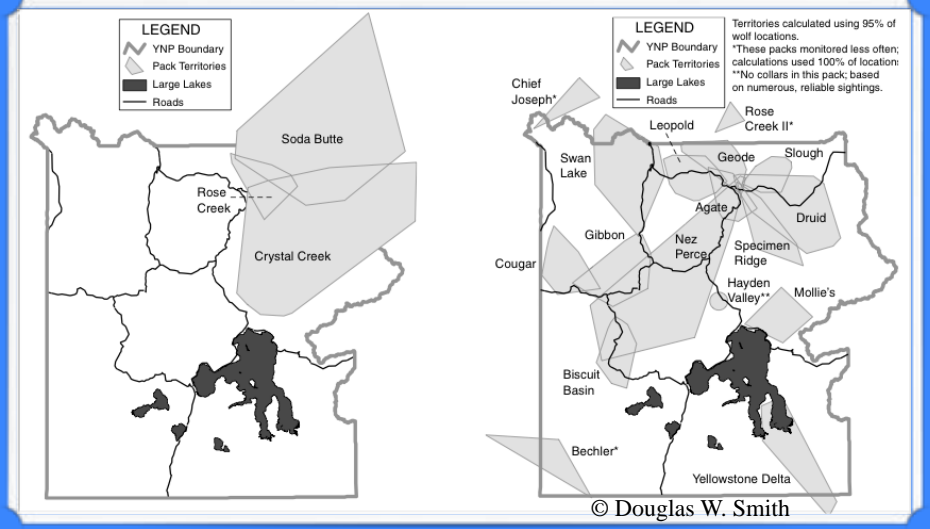
Même si l'idée de réintroduire l'espèce dans le Parc National de Yellowstone fut soulevée par les biologistes du Parc dans les années 60, toute une saga politique, juridique et administrative marqua les 22 années séparant la déclaration du loup gris comme espèce protégée aux États-Unis et l'intégration des premiers loups dans le Parc Yellowstone en janvier 1995. Les études d'impact, les audiences publiques, les injonctions et les poursuites judiciaires n'ont toutefois pas découragé les biologistes responsables d'élaborer le protocole de réintroduction qui nécessitait, lui-même, plusieurs décisions majeures tant au niveau écologique qu'administratif. En 1995, 29 loups ont été prélevés au sein des populations de l'Alber-

ta. Quinze individus étaient destinés à la région sauvage du centre de l'Idaho et 14 au Parc Yellowstone. Plusieurs raisons justifient le choix de loups natifs des Rocheuses canadiennes : ils vivent sur un territoire semblable à Yellowstone, ils se nourrissent de wapitis et de cerfs, les mêmes proies que les loups retrouveraient dans le Parc, ils sont très peu ou pas en contact avec des élevages agricoles donc ils ne se nourrissent pas d'animaux domestiques et finalement, ils seraient semblables aux populations qui occupaient l'extrême nord-ouest des États-Unis avant l'extermination.



© Jim Peaco

À leur arrivée au Parc Yellowstone, les loups ont été séparés dans 3 sites différents et ont d'abord vécu quelques mois dans des enclos d'acclimatation avant d'être relâchés. En 1996, 17 autres individus provenant de la Colombie-Britannique furent introduits dans le Parc pour un total de 31 individus. L'objectif du programme était d'établir une population viable se traduisant par la présence de 10 couples reproducteurs (un mâle et une femelle adultes élevant au moins deux louveteaux au 31 décembre de l'année) durant 3 années consécutives. La réintroduction était surveillée de près par les médias, les groupes de protection des animaux et les fermiers alors toutes erreurs ou critiques négatives



Territoire des trois meutes établies en 1995 au Parc national de Yellowstone. Les territoires sont étendus et se chevauchent largement. La carte de droite montre le territoire des 16 meutes présentes en 2004. Les territoires sont en général plus petits et se chevauchent moins.



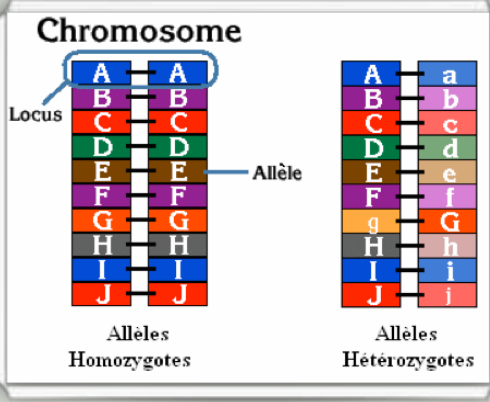
Emplacement de la zone de capture des loups en 1995 (Alberta, Canada) et 2 zones de libération des loups, soit le centre de l'Idaho et le Parc national de Yellowstone aux États-Unis. La ligne pointillée indique la limite sud où on retrouve encore des population viable de loups dans le sud-ouest du Canada et au Montana.

pouvaient entraîner l'arrêt du programme. Cependant, le protocole minutieusement élaboré et appliqué a été un succès : en 2004, 10 ans après l'introduction des 31 loups canadiens, la population du Parc National de Yellowstone atteignait 167 loups répartis en 16 meutes. Les loups gris se sont adaptés rapidement à leur nouveau territoire, car ils ont commencé à se reproduire très tôt et avec succès. Le programme prévoyait 2 à 4 autres années d'introduction, mais elles ne furent pas nécessaires et dès 2002, la population était jugée viable.

La réintroduction d'un petit groupe de loups à l'intérieur d'un espace relativement isolé des autres populations peut entraîner des problèmes génétiques à long terme. Le programme de réimplantation au sein d'un Parc National offrait donc une opportunité sans précédent aux chercheurs en génétique pour étudier cet aspect, et ce, en suivant de près la population introduite de loups à Yellowstone au fil des années. C'était l'occasion idéale de « se jeter dans les gènes du loup »...

UN GÈNE

De manière simplifiée, on peut se représenter un gène comme étant une sorte de code qui permet d'exprimer un caractère ou une fonction. Ce caractère peut être, par exemple, la couleur des yeux, celle du poil de nos loups ou le développement d'une maladie héréditaire liée à la mortalité infantile. Chez l'homme comme chez les loups, nous avons deux versions d'un même gène qui se nomment allèles. En fait, pour chacun des gènes qui forment notre bagage génétique, nous recevons un allèle de notre père et l'autre de notre mère. Ce principe fondamental de l'hérédité



Source : www.mhref.com

est applicable à l'ensemble des organismes vivants.

Cependant, les allèles n'ont pas tous la même capacité pour exprimer un caractère quelconque : certains sont dominants, d'autres sont récessifs. En vérité, un allèle dominant s'exprime quel que soit l'allèle qui l'accompagne, tandis qu'un allèle récessif peut s'exprimer uniquement quand l'allèle qui l'accompagne est identique.

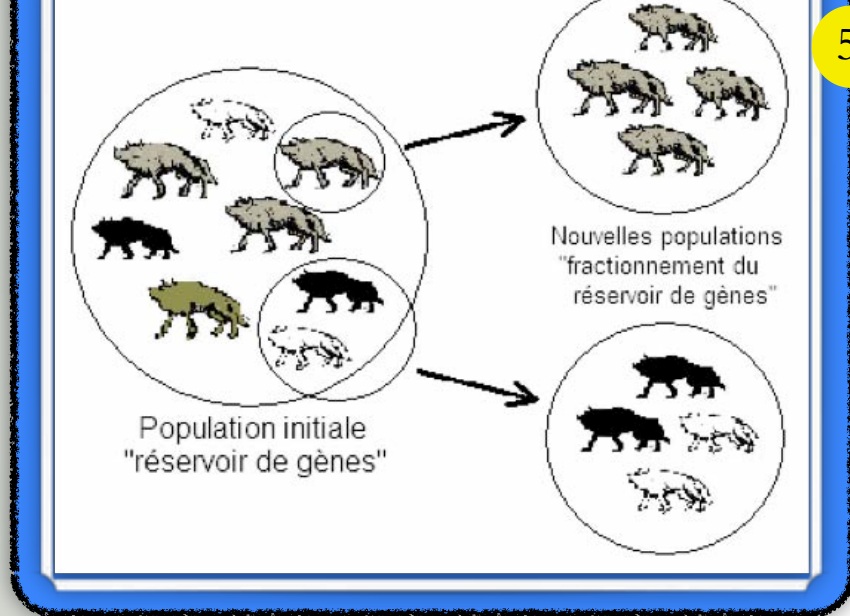
Les livres de biologie utilisent souvent, en exemple, la couleur des yeux pour illustrer la dominance et la récessivité des allèles. La couleur brune (notée grand B) est associée à l'allèle dominant tandis que la couleur bleue (notée petit b) provient de l'allèle qui est récessif. Avec ces deux allèles, quatre combinaisons sont donc possibles : 1) BB, 2) Bb, 3) bB et 4) bb. La sélection de l'une de ces combinaisons est le fruit du hasard. Dans l'éventualité que l'une des trois premières combinaisons ait été retenue, l'individu aurait les yeux bruns sinon, la quatrième combinaison donnerait les yeux bleus.

Par ailleurs, on dit qu'un gène est homozygote lorsque les deux allèles

sont identiques (p. ex. BB et bb). À l'inverse, un gène composé de deux allèles différents est hétérozygote (p. ex. Bb et bB). Quand un homme et une

femme aux yeux bruns se reproduisent et qu'ils sont hétérozygotes pour le gène associé à la couleur des yeux alors, toutes les possibilités de combinaisons génétiques peuvent avoir lieu : $Bb \times Bb = BB, Bb, bB, bb$. Si les deux membres du couple aux yeux bruns avaient été homozygotes, la même combinaison reviendrait quatre fois : $BB \times BB = BB, BB, BB, BB$. Un constat semblable est applicable chez un couple aux yeux bleus : $bb \times bb = bb, bb, bb, bb$. Vous comprendrez que plus les allèles sont différents, plus cela offre de possibilités de combinaison, c'est-à-dire de variabilité génétique.

L'effet fondateur



Chaque être vivant détient un bagage de gènes unique. Étant donné que les individus se regroupent en population, cette dernière joue le rôle de « réservoir » de gènes permettant un brassage de ces gènes et donc une plus grande variabilité dans la descendance.

L'EFFET FONDATEUR

Supposons qu'un petit groupe de loups provenant d'une grande population, comme celle de l'Alberta, est amené dans un nouvel habitat isolé

Loup-garou : mythes et légendes

Les loups sont au cœur des légendes et du folklore des hommes depuis la nuit des temps. Le personnage le plus connu est sans doute le loup-garou, créature mi-homme mi-loup, qui possédait une force redoutable et une férocité inhumaine. On disait que la morsure du loup transmettait la malédiction et que celui qui en était victime se transformait en loup-garou aux pleines lunes. Durant ces nuits, les loups-garous attaquaient sans merci les gens rencontrés sur son chemin, les tuant et les dévorant. La mythologie grecque disait également que les cadavres non incinérés des loups-garous revenaient à la vie sous forme de vampires, errant la nuit et s'abreuvant de sang humain. Ce genre de mythe a fortement contribué au développement d'un sentiment hostile envers les loups chez les populations humaines. Ceux-ci étaient alors considérés comme des bêtes dangereuses et indésirables, qu'il fallait absolument éliminer.



comme le Parc de Yellowstone. Ce petit groupe « emportera » avec lui uniquement une fraction du « réservoir » de gènes de la population albertaine. Simplement à cause du hasard, cette fraction pourrait ne pas représenter fidèlement la diversité du « réservoir » de gènes de la population d'origine. Cet effet fondateur fera donc en sorte que la nouvelle population de Yellowstone aura une composition génétique différente de celle de la population d'origine. Force est d'admettre que la diversité génétique de la nouvelle population dépendra énormément des fondateurs.

GOULOT D'ÉTRANGLEMENT

Imaginons maintenant que cette petite population de Yellowstone subisse une réduction drastique de sa taille en raison d'une perturbation telle que la chasse intensive. Ce phénomène, appelé goulot d'étranglement populationnel, fera en sorte que les survivants vont se reproduire à partir d'un « réservoir » de gènes réduit ce qui diminuera davantage la diversité génétique.

LA DÉRIVE GÉNÉTIQUE

Dans la petite population de Yellowstone, on peut aussi présumer qu'il est quasi inévitable qu'un certain nombre d'allèles ne soit pas transmis des parents à leurs descendances, et ce, purement par hasard. Au cours des générations suivantes, le nombre d'allèles dans la population de loups sera donc diminué. Parmi les allèles qui resteront dans les nouvelles générations,

certaines vont connaître une augmentation de leurs fréquences tandis que d'autres vont diminuer et même disparaître par le phénomène que les

scientifiques appellent la dérive génétique.

CONSANGUINITÉ

En raison de la promiscuité entre les individus, il est facile de concevoir que les probabilités d'accouplements consanguins sont plus élevées dans les populations de petite taille. Un loup pourrait donc se croiser avec un proche parent qui possède un certain nombre d'allèles en commun aux siens ce qui aura pour conséquence d'accroître l'homozygotie, et donc de diminuer la variabilité génétique.

La généticienne Linda Laikre de l'Université de Stockholm a d'ailleurs démontré que ce risque de consanguinité était très élevé dans les petites populations comme celles des zoos. En Scandinavie, les loups vivant en captivité mourraient plus jeunes. Les louves se reproduisaient à un âge plus

Goulot d'étranglement



Lors d'un goulot d'étranglement, une population diminue radicalement de taille. Elle s'accroîtra par la suite, à partir d'un réservoir de gènes réduits.

Source : www.creationevolution.net



© Mathieu Lyonnais

Des loups au Parc Safari, Hemmingford (Québec)

avancé et leurs portées étaient réduites. Plusieurs loups étaient même presque aveugles.

DÉPRESSION CONSANGUINE

Certaines maladies congénitales causées par des allèles récessifs ne s'expriment pas chez les hétérozygotes puisqu'elles sont en quelque sorte « cachées » par un allèle dominant. Lorsque ces allèles récessifs sont « mis à nu » par homozygotie, la maladie peut alors se manifester. Beaucoup de ces maladies ont des répercussions sur la mortalité infantile créant ainsi une dépression consanguine. Autrement dit, le taux élevé de mortalité chez les juvéniles entraîne un ralentissement du nombre d'individus qui s'ajoutent à la population.

Au Québec, Patrice Deneault, Directeur zoologique au Parc Safari, mentionne que : « *les conditions de vie des loups dans les zoos conduisent inévitablement à la consanguinité* ». Il ajoute qu'« *aucune anomalie physique ou problème de santé majeur n'a cependant été observé chez les loups du Parc Safari* ». En fait, plusieurs chercheurs pensent même que la consanguinité fait partie des adaptations des carnivores vivant

en groupe hiérarchisé et que la dépression consanguine est très peu observable en nature.

Denis Réale, professeur en génétique des populations à l'Université du Québec à Montréal, propose une hypothèse pour expliquer cette absence de dépression consanguine chez les loups. La sélection naturelle agit en conservant les individus qui ont des caractéristiques favorisant la survie et la reproduction. Au cours des générations, il se produirait une « purge génétique » qui éliminerait les individus présentant des gènes associés à des mutations néfastes et à des maladies récessives. Le professeur stipule que : « *La dépression consanguine diminue dans ces populations, car les individus consanguins et homozygotes ne présentent plus que des combinaisons d'allèles dominants, ne posant pas de problème* »

LA DIVERSITÉ GÉNÉTIQUE EST ESSENTIELLE À LA SURVIE DE L'ESPÈCE

En définitive, que ce soit par effet fondateur, goulot d'étranglement, dérive génétique ou consanguinité, la conséquence générale de ces mécanismes est la perte de diversité génétique. Mais qu'arriverait-il si une catastrophe naturelle ou une maladie survenait et que le gène pour résister à ces événements était absent de la nouvelle population? L'espèce pourrait être menacée à court terme et même s'éteindre à long terme. De ce fait, la variabilité génétique est essentielle à la survie de l'espèce.

LA BIOLOGIE MOLÉCULAIRE AU SERVICE DE L'ÉCOLOGIE

De nos jours, les chercheurs en biologie moléculaire disposent de techniques de génie génétique qui permettent d'étudier la variabilité génétique des organismes vivants. Ces

Saviez-vous que la longueur totale du loup varie entre 159 et 165 cm et qu'il peut peser jusqu'à 42 kg? Le loup possède un pelage généralement gris cendré et a le bout de la queue noir. Le domaine vital du loup, c'est-à-dire l'aire fréquentée par un individu pour accomplir ses activités normales d'alimentation, de reproduction, d'élevage et de repos, peut osciller entre 39 km² à plus de 13000 km²! Le loup vit habituellement en meute hautement hiérarchisée et il a un régime alimentaire varié. Il se nourrit de gros mammifères (cerfs, orignaux, caribous), de petits mammifères (lièvres, marmottes, souris, castors), ainsi que de poissons, de petits fruits et d'insectes.

Le loup et le chien sont évolutivement très proches l'un de l'autre. En effet, le chien domestique aurait pour ancêtre le loup gris. Plusieurs caractères physiologiques divergent entre le chien et le loup : en comparaison avec un loup de taille semblable, le chien possède un crâne 20 % plus petit, et un cerveau 30 % plus petit que celui du loup. Les muscles de la mâchoire sont moins développés chez le chien, et la peau du chien domestique a tendance à être plus épaisse que celle du loup. Leurs pattes sont deux fois plus grosses que celles du chien, et la queue du chien tend à courber vers le haut, caractère absent chez le loup.

outils permettent de déceler les différences qui existent au niveau des gènes. Parce que le langage des gènes est universel pour tous les organismes vivants, ces techniques permettent également d'établir des liens de parenté entre espèces différentes.

Les chromosomes sont faits d'ADN et représentent les structures porteuses de l'information génétique des êtres vivants. L'ADN de certains organismes peut comporter plusieurs



Denis Réale, professeur en génétique des populations à l'Université du Québec à Montréal

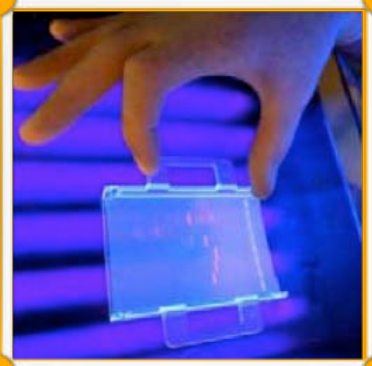
Les techniques de la biologie moléculaire : la PCR et l'électrophorèse sur gel

Pour trouver des différences génétiques entre les loups, les chercheurs déposent les prélèvements biologiques dans une solution qui contient des amorces et des enzymes appelés polymérase. Cette solution est mise dans un appareil séquenceur qui effectue la réaction d'amplification en chaîne (PCR). En fait, l'amorce, une petite molécule biologique, reconnaît et se fixe sur la zone microsatellite à étudier. Elle est comme un signal de départ pour que l'enzyme initie la synthèse d'un grand nombre de copies des gènes sélectionnés.

Séquenceur d'ADN



Électrophorèse sur gel



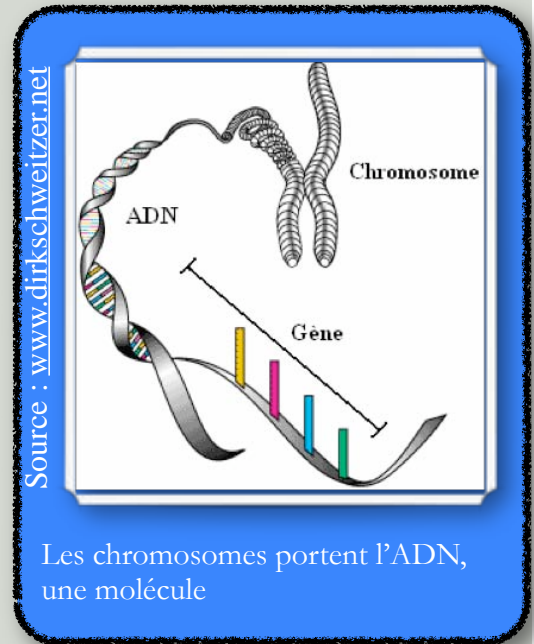
Après cette étape, l'ADN amplifié est analysé par électrophorèse sur gel, un procédé qui donne une sorte de photographie des gènes, ce qui permet d'en extraire de l'information. La photographie obtenue par électrophorèse permet donc de comparer les deux versions des allèles d'un même gène. Lorsque deux allèles sont de même longueur, le gène est homozygote tandis qu'il est hétérozygote advenant que leurs longueurs soient différentes.

milliers de gènes et la position de ceux-ci est souvent inconnue. Il serait donc inconcevable d'étudier tous les gènes afin de trouver les différences génétiques entre individus. Afin de pouvoir localiser précisément les différences génétiques, on utilise des zones particulières de l'ADN comme repères; zones appelées microsatellites.

AMPLIFIER LES GÈNES POUR MIEUX LES VOIR...

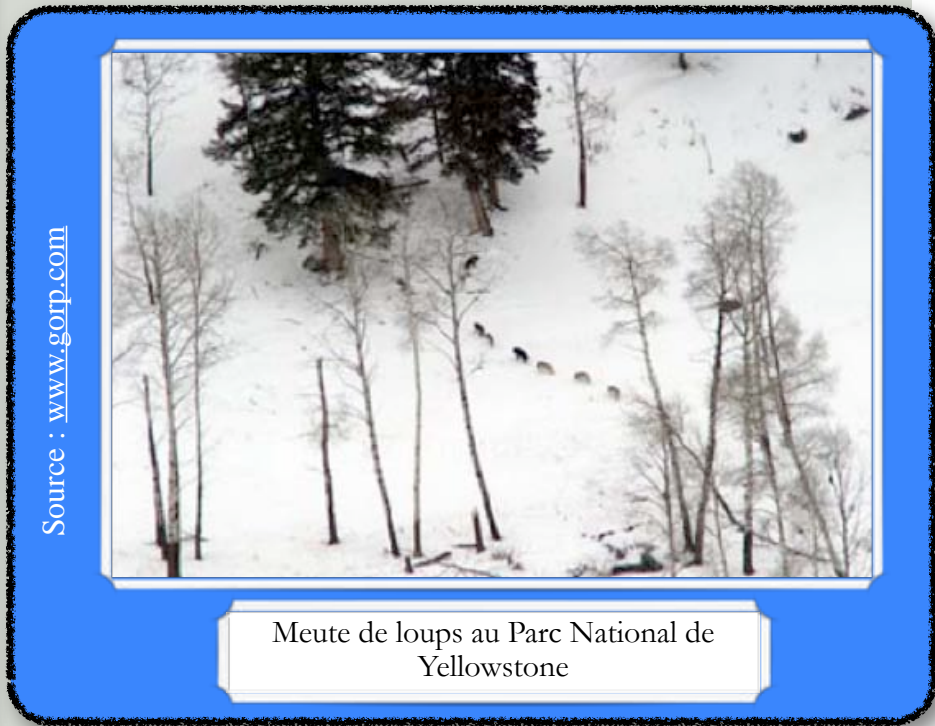
Pour réaliser la cartographie génétique des meutes de loups canadiennes et nord-ouest américaines, les Docteurs Forbes et Boyd de l'Université du Montana se sont servi des mêmes zones microsatellites d'un proche parent, le chien, puisque peu d'études génétiques avaient été réalisées sur le loup.

Ainsi, des prélèvements de



Les chromosomes portent l'ADN, une molécule

sangs, de poils et de tissus biologiques ont servi à extraire l'ADN de loups. Dans les échantillons, l'ADN est présent en très infime quantité si bien que les chercheurs doivent l'amplifier. Toutefois, ce n'est pas tout l'ADN qui doit être amplifié, mais seulement les zones microsatellites préalablement déterminées pour l'étude. Certaines molécules biologiques permettent cette sélection par



Meute de loups au Parc National de Yellowstone



Source : www.junglewalk.com

Mâle et femelle dans leur habitat naturel

un procédé de réaction d'amplification en chaîne, communément appelée PCR (Polymerase Chain Reaction).

DES RÉSULTATS GÉNIAUX!

À partir des données génétiques obtenues par PCR, les chercheurs de l'Université du Montana ont pu comparer la fréquence des allèles des meutes de loups du Canada et de celles du Nord des États-Unis. Ainsi, très peu d'allèles avaient été perdus chez les meutes de loups américaines par rapport aux meutes canadiennes, ce qui représente une bonne nouvelle, car les généticiens estiment que les risques de dérives génétiques peuvent être écartés. Ils ont aussi évalué l'homozygotie, car celle-ci est associée à la consanguinité. Les résultats sont très encourageants; la consanguinité est faible.

Par ailleurs, les chercheurs ont tracé une sorte d'arbre généalogique avec les allèles hétérozygotes des meutes de loups nord-américaines. L'arbre montrait une variabilité génétique élevée entre les individus constituant une même meute et entre les meutes

différentes. En fait, les meutes américaines présentent une diversité génétique presque aussi élevée que celles du Canada. Selon les chercheurs, les deux populations de loups, canadiennes et américaines, se comporteraient comme une seule grande population; l'effet fondateur ne s'est donc pas produit.

QUAND IL Y A DE LA GÈNE, IL N'Y A PAS DE VARIABILITÉ!

La variabilité génétique très élevée chez les loups américains peut s'expliquer par leur comportement social et leur dispersion.

Les loups vivent en meute et chaque meute établit un territoire aux frontières fermes qu'elle défend jalousement face aux autres loups. Une meute est composée de 5 à 12 individus bien que ce nombre peut varier en fonction de la grosseur et du nombre de proies potentielles sur leur territoire. Plus de nourriture peut se traduire par des meutes plus grandes. Au sein de la meute, on retrouve habituellement une paire dominante de reproducteurs (mâle et

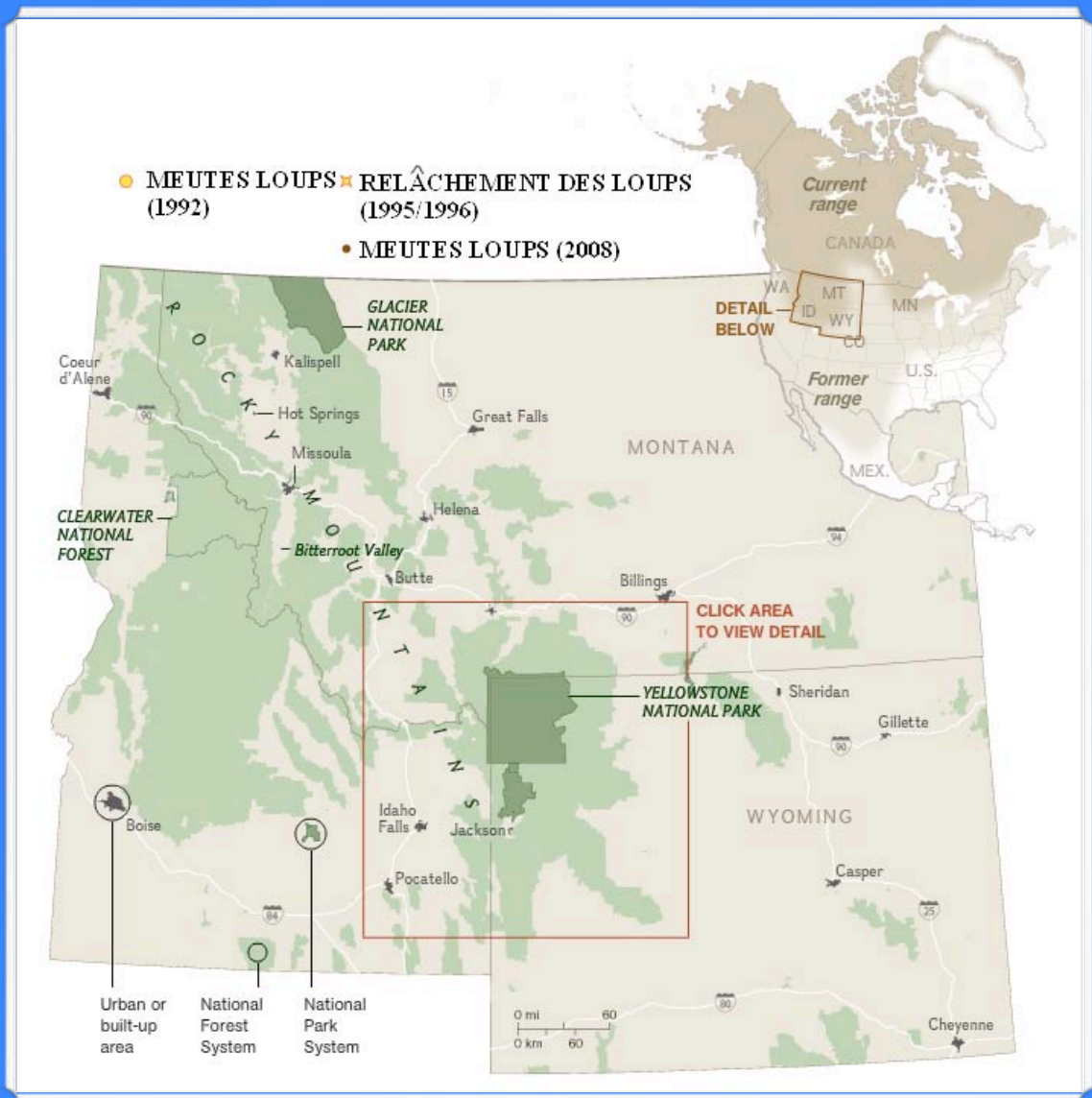
femelle alpha) et leur progéniture des trois années précédentes qui constitue les individus subordonnés. Plus la meute compte d'individus d'âges différents et plus les relations sociales y sont complexes. Même si la paire dominante est généralement la seule qui se reproduit, tous les membres de la meute participent à l'élevage des petits. Cependant, « le partage des tâches » ne se fait pas toujours en douceur et chaque individu doit lutter pour maintenir sa position dans la meute ou pour en acquérir une meilleure. Les combats sont fréquents dans les périodes de reproduction et il arrive occasionnellement que des individus subordonnés se reproduisent avec

succès.

Afin d'améliorer son sort ou parce qu'il est rejeté par ses congénères, un individu peut quitter la meute dès l'âge d'un ou 2 ans afin d'établir une autre meute. Cependant, il est fréquent de voir des loups solitaires. Celui-ci peut être adopté au sein d'une meute où il peut même remplacer un individu alpha décédé. La dispersion est le nom donné à l'action de quitter le lieu de sa naissance pour aller s'établir dans un nouveau site.

Ainsi chez les loups, la dispersion permet d'augmenter la probabilité de trouver un partenaire sexuel. Les risques de consanguinité et ses effets négatifs sont ainsi grandement diminués. Autrement dit, en favorisant l'échange de matériel génétique, la dispersion augmente l'hétérozygotie. Parmi les carnivores, le loup serait celui qui parcourt les distances les plus élevées lors de ses dispersions.

Dans le Parc National de Yellowstone, les trois meutes de départ ont rapidement formé d'autres meutes en se dispersant partout dans le Parc et



Source : www.nationalgeographic.com

Représentation de la situation des loups en 2008, dans les États des Rocheuses américaines. On décomptait alors 1645 loups répartis en 217 meutes.

même hors de ses limites. Les hurlements des loups permettent, entre autres, d'informer les autres loups de leur présence et ils peuvent se faire entendre dans un rayon de plus de 130 km². Il est ainsi fort probable

que les meutes aient été en contact avec d'autres individus provenant de la dispersion des populations introduites en Idaho et au Wyoming. L'immigration permet, elle aussi, le transfert d'allèles d'une population à

une autre, augmentant davantage la variabilité génétique : on soupçonne que « la visite » pourrait provenir d'aussi loin que du Canada. Comme quoi, il n'y a pas de danger à « se jeter dans les gènes du loup ». ¶

POLLUTION ÉLECTROMAGNÉTIQUE : DANS UN CHAMP PRÈS DE CHEZ VOUS?

Par : Camille Morin, Jérôme Lizotte, Tatiana Leclerc et Raymond Lanctot

Geneviève et Jean-Philippe venaient d'acquérir la maison de leurs rêves. Toutefois, les plans de construction d'une future ligne à haute tension près de leur résidence vinrent atténuer leur enthousiasme. Le couple, nouvellement parent, se questionne maintenant quant aux risques associés aux lignes électriques. Vaut-il mieux déménager? Jean-Philippe se rappelle du tollé qu'avait soulevé une étude épidémiologique parue en 1979. Celle-ci attribuait un lien possible entre l'incidence de leucémie infantile et la présence de fils électriques dans les quartiers résidentiels du Colorado. Or, depuis ce temps, nombre d'études ont été menées afin de démystifier ce qu'avancait ce premier ouvrage. Qu'en est-t-il réellement? Le jeune couple a-t-il raison d'être méfiant?

Avec l'avènement de l'industrialisation et l'accroissement démographique des populations, les besoins énergétiques n'ont cessé d'augmenter. Au Québec, maintes installations hydro-électriques et lignes à haute tension ont dû être érigées afin de répondre à la demande grandissante. Jusqu'alors, on s'était peu intéressé aux effets possibles des ondes générées par le réseau électrique. Les lois de la physique stipulent qu'un fil électrique émet à la fois un champ électrique et un champ magnétique, tous deux ayant des propriétés distinctes. Les champs électromagnétiques sont donc composés du champ électrique et du champ magnétique. Le premier ne peut pas traverser le corps humain et n'a aucun effet sur celui-ci. En comparaison, les ondes du champ magnétique peuvent traverser le corps en entier et potentiellement affecter l'ensemble des tissus biologiques. C'est donc cette composante du champ électromagnétique qui est à l'origine de toutes les craintes. Cette propriété du champ magnétique a justifié une investigation plus approfondie par la communauté scientifique. Plus précisément, les études ont ciblé les champs électromagnétiques de basse fréquence extrême (CÉM-BFE), c'est à dire les champs émis par les lignes de transport électrique et les appareils à forte

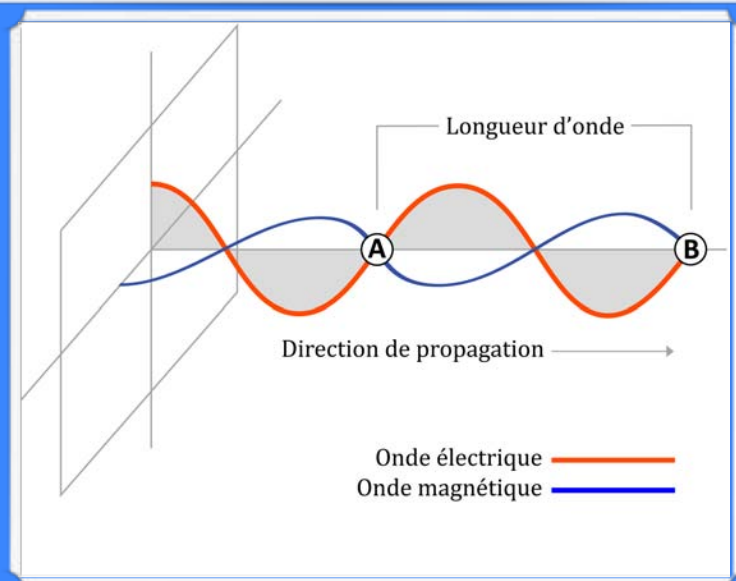
consommation électrique comme les électroménagers. À l'époque, les CÉM-BFE étaient soupçonnés d'être à l'origine de divers troubles du sommeil et de certains cancers, dont la leucémie infantile.

CANCER : LE CHOC DES IDÉES

La question centrale est de savoir si les CÉM-BFE, omniprésents dans l'environnement, pourraient avoir

ÊTES-VOUS AU COURANT?

Les champs électromagnétiques consistent en une superposition de deux ondes provenant respectivement du champ électrique et du champ magnétique, deux phénomènes distincts. Ces ondes, qui défilent à la vitesse de la lumière, se caractérisent par leur fréquence (en Hertz), soit le nombre d'oscillations par seconde, et par leur longueur d'onde. Celle-ci constitue la distance entre un point d'une onde et son homologue (entre A et B). Les CÉM-BFE sont des ondes ayant une fréquence comprise entre 10 et 300 Hertz.



des effets néfastes sur la santé humaine. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), les CEM-BFE sont des éléments « ne pouvant être classés en tant que cancérigènes ». En effet, d'après l'OMS, aucune étude n'aurait permis de prouver une relation significative entre une exposition aux CEM-BFE et le cancer, que ce soit sur des animaux de laboratoire ou chez l'humain.

La consultation de deux spécialistes s'intéressant au sujet depuis les années 80, a permis d'approfondir la question sur les effets possibles que peuvent avoir les CEM-BFE sur la santé humaine. Le Dr. Magda Havas, toxicologue environnementale et professeure à l'Université de Trent en Ontario, ainsi que le Dr. Michel Plante, médecin-conseil à Hydro-Québec, ont accepté de répondre à nos questions.

Le Dr. Havas a exposé la nature de ses inquiétudes ainsi que l'origine de celles-ci : « Mes craintes ont débuté à la lecture d'articles scientifiques écrits dans les années 1980-90 démontrant que les enfants exposés à des CEM-BFE à leur domicile semblaient développer davantage la leucémie. De plus, les adultes exposés seraient plus à risques de développer trois types de cancer : la leucémie, le cancer du cerveau, et le cancer du sein ». Les craintes de la chercheuse ont été accentuées par des études cliniques réalisées sur des fractures osseuses d'humains et démontrant la prolifération des cellules des os après exposition à des CEM-

LE CHAMP ÉLECTRIQUE	Vs.	LE CHAMP MAGNÉTIQUE
<ul style="list-style-type: none"> ■ Présent lorsqu'un appareil électrique est branché, même s'il n'est pas en marche. ■ S'atténue plus on s'éloigne de la source. ■ Ne traverse pas le corps ■ Provoque la migration des charges électriques présentes naturellement à l'intérieur du corps vers sa surface sans affecter les processus métaboliques. ■ Mesuré en Volt par mètre (V/m) 		<ul style="list-style-type: none"> ■ Généré lorsqu'un appareil électrique est en marche ■ S'atténue plus on s'éloigne de la source. ■ Peut traverser le corps ■ Peut induire des courants électriques de forme circulaire à l'intérieur du corps. ■ À très haute intensité, il peut y avoir des effets perceptibles par le corps humain. ■ Mesuré en microtesla (µT)

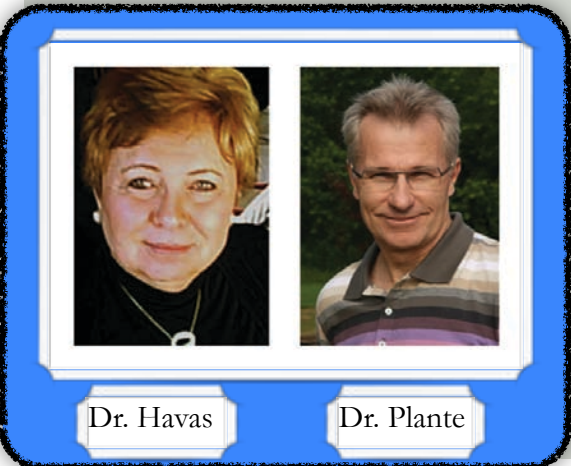
BFE. Selon l'experte, si les cellules osseuses saines se divisent plus rapidement par l'exposition à ces champs, il pourrait en être de même pour les cellules cancéreuses. D'où l'augmentation de l'incidence de cancer chez les personnes exposées.

L'opinion du Dr. Plante est beaucoup plus nuancée que celle du Dr. Havas en ce qui concerne l'occurrence des cancers. Adoptant une vision semblable à celle de l'organisation mondiale de la santé (OMS), le Dr. Plante ne croit pas qu'il y ait lieu de s'alarmer. Son argumentaire s'appuie d'abord sur le fait que les effets des CEM-BFE, tels que présentés par le Dr. Havas, aient été étudiés de manière inadéquate. Concernant le lien entre l'exposition aux CEM-BFE et la leucémie infantile, il note entre

autres que les mesures n'ont pas toujours été effectuées à l'intérieur des résidences des sujets étudiées, mais en périphérie de la demeure. Selon lui, cela réduit la validité de ces résultats puisque les mesures ne sont pas uniformes. Un autre argument du médecin repose sur le fait que tout individu est constamment exposé au champ électromagnétique terrestre, qui s'élève à environ 50 microteslas. Le Dr. Plante, avance « Si personne sur Terre ne peut se dire non-exposé, alors il est impossible de comparer les personnes exposées à un témoin négatif ». En outre, la taille des groupes testés n'était pas toujours comparable, en terme d'effectifs. D'autre part, le Dr. Plante ajoute :

« Puisque toutes les cellules du corps humain sont exposées aux CEM-BFE sans discrimination, le taux de cancer devrait être observable dans à peu près tous les tissus. En soi, ceci invalide un lien de causalité entre les champs magnétiques et les cas de leucémie observés. Pour que les cas de cancers soient attribués aux CEM-BFE, le nombre de cas devrait être lié positivement à la durée et l'intensité d'exposition aux CEM-BFE. Or, les recherches n'ont pu établir ce lien. »

Par exemple, les études épidémiologiques menées sur les monteuses de lignes chez Hydro-Québec qui sont exposés à un champ magnétique allant jusqu'à 1000 microteslas, ne présentent pas un nombre de pathologies de cancer plus élevé que les travailleurs de cette même industrie qui sont considérablement moins exposés. Le dernier argument du Dr. Plante repose sur le fait que les expé-



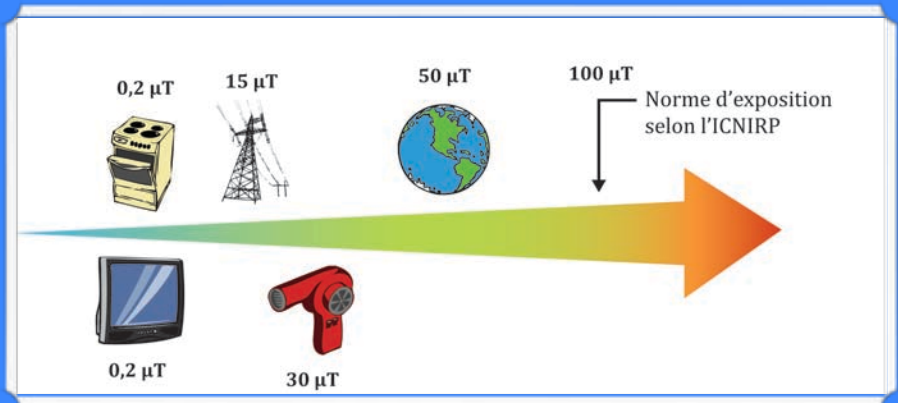
riences en laboratoire sur divers animaux n'ont pas permis de trouver de lien entre l'exposition aux champs électromagnétiques et le cancer. Par exemple, mentionnons l'étude portant sur des souris de laboratoire qui ont été soumises à des champs s'élevant à plus de 5000 microteslas et qui n'ont présenté aucun signe de désordre de santé.

On remarque aussi que la première étude ayant sonné l'alarme signale elle-même ses possibles biais et faiblesses. Publiés en 1979 par Nancy Wertheimer et Ed Leeper, deux chercheurs de l'université du Colorado, leurs travaux stipulaient qu'une augmentation de la fréquence de la leucémie infantile serait peut-être reliée à la présence de fils électriques près des résidences des sujets atteints. Toutefois, les auteurs précisent bien que la nature du lien observé reste incertaine. D'ailleurs, selon l'épidémiologiste, Jack Siemiatycki, médecin titulaire sur l'épidémiologie environnementale et santé des populations à l'université de Montréal :

« Un éventail de facteurs pourraient être responsable du nombre élevé de cancers chez

IL Y A DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME DANS L'AIR!

Les CÉM-BFE proviennent de sources multiples. Tout appareil fonctionnant à l'électricité émet ce type de champs. Les appareils de maison tels que la cuisinière, la télévision, le sèche-cheveux et les lignes de transmissions électriques sont des sources de CÉM-BFE.



ces résidents. Il pourrait s'agir du hasard, d'une autre véritable cause de cancer, ou encore d'un concours de circonstances. »

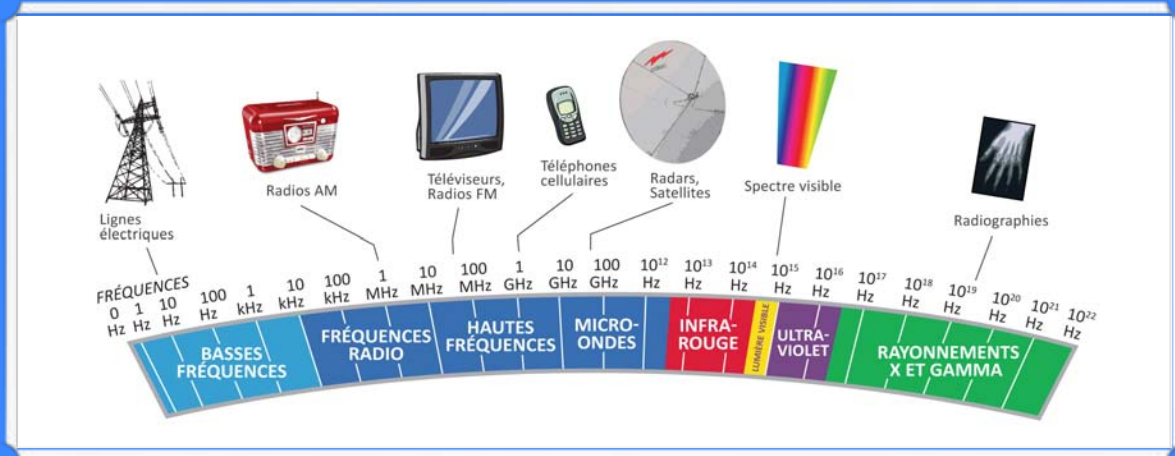
En somme, on ne peut tirer de conclusions définitives suite aux résultats d'études épidémiologiques, car l'association trouvée entre le cancer et les CÉM-BFE ne signifie pas forcément que ceux-ci sont la cause de la maladie. Les CÉM-BFE sont donc présumés innocents jusqu'à ce que

les expériences en laboratoire puissent prouver leur culpabilité.

MISE À PART LE CANCER...

Existe-il d'autres doutes quant aux effets des CÉM-BFE sur la santé? Il semblerait que oui! D'après le Dr Havas, : «Une étude a montré en 2002 que des femmes dans leur premier trimestre de grossesse ayant été exposées à des CÉM-BFE, couraient de plus grands risques de fausses

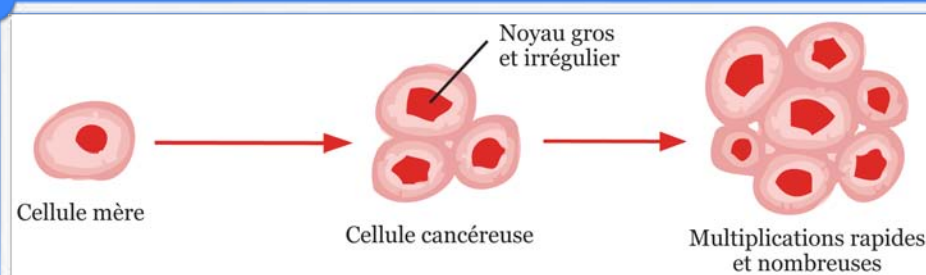
La figure ci-dessus est une représentation de l'étendu du spectre électromagnétique. Il correspond au rayonnement électromagnétique émis ou absorbé par divers objets. Ce rayonnement est le résultat d'une perturbation du champ électrique et magnétique. Il en résulte qu'avec divers types de perturbations, divers rayonnements sont émis. Chacun ayant une fréquence et une longueur d'onde qui lui est propre. Les CÉM-BFE se situent à l'extrême gauche de la figure.



CANCER ET LEUCÉMIE : DE QUOI S'AGIT-IL?

Le cancer est une maladie caractérisée par une division désordonnée et continue de cellules anormales. Cette prolifération incontrôlée, qui apparaît dans un tissu du corps, forme une masse que l'on appelle tumeur.

Dans le cas de la leucémie, il s'agit d'un cancer du sang. Il prend naissance dans la moelle osseuse; la matière spongieuse qui se trouve au centre de la plupart des os. C'est là que sont fabriquées toutes les cellules sanguines, comme les globules rouges, les globules blancs et les plaquettes. La leucémie est observée lorsque la moelle osseuse produit plusieurs cellules sanguines anormales. Ces dernières, appelées cellules leucémiques, se multiplient et finissent par dépasser le nombre de cellules saines. Dans ces conditions, il devient difficile pour les cellules sanguines d'accomplir adéquatement leurs tâches et il en résulte une efficacité décroissante du système sanguin. Ultimement, le taux d'oxygène dans le sang, la réponse immunitaire et l'efficacité de coagulation seront amoindris par la présence de cellules leucémiques.



couches, de malformations du bébé et d'un faible poids de l'enfant à la naissance». Les CÉM-BFE ont également été associés à l'Alzheimer, aux maux de têtes et aux troubles du sommeil. Cependant, au terme d'années de recherche, l'OMS comme la communauté scientifique démentent maintenant ces soupçons. Ils soutiennent que les CÉM-BFE ne peuvent être tenus directement responsables de ces troubles. Le seul effet sur le corps à avoir été prouvé apparaît à des niveaux d'intensité de champs magnétiques extrêmement élevés. À une intensité de 5000 microteslas, des courants sont produits dans les cellules de la rétine de l'œil et déclenchent des influx nerveux qui se rendent au cerveau et donnent une impression de point lumineux. Ces points lumineux, appelé « magnétophosphènes » ne sont pas douloureux, n'endommagent pas l'œil et disparaissent lorsque l'exposition cesse. De plus, ni la population ni les travailleurs ne sont exposés à de tels niveaux d'intensité.

NORMES ACTUELLES ET MESURES PRÉVENTIVES

Jusqu'ici, comme les études expérimentales n'ont pas permis d'établir un lien de causalité entre les CÉM-BFE et quelque effet sur la santé humaine, il n'existe pas de législation à cet égard au Canada. Notons toutefois que divers organismes professionnels ont décidé, par mesure préventive, de fixer des limites d'exposition. À titre d'exemple, l'*International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection* (ICNIRP), un regroupement international de scientifiques indépendants qui traite des éventuels effets sur la santé humaine liés à l'exposition aux rayonnements non ionisants comme les CÉM-BFE, a statué les limites d'exposition à 100 microteslas pour le public et 500 microteslas pour les travailleurs exposés professionnellement aux champs magnétiques. À titre comparatif, les champs magnétiques ambiants des habitations du Québec sont généralement de l'ordre de 0,15 microteslas. Ainsi, on peut constater que les valeurs

d'exposition quotidiennes sont éloignées des normes émises par l'ICNIRP. Néanmoins, Hydro-Québec a décidé de suivre les recommandations de l'ICNIRP pour la construction du réseau électrique.

SE PROTÉGER ?

Depuis la médiatisation de la problématique des champs magnétiques, certaines compagnies tentent de tirer avantage de cette situation en manufacturant des produits pouvant contrer les prétendus effets indésirables des champs électromagnétiques. Des produits comme les filtres *Graham-Setzer*, recommandés par le Dr. Havas, ou des commutateurs spéciaux, peuvent être achetés par ceux qui croient être affectés par les CÉM-BFE. Les compagnies mettant en vente ces produits mentionnent que ces derniers bloquent efficacement autant les champs électriques que magnétiques, alors que le champ magnétique ne peut être atténué par quelconque matériau. Ainsi, ces entreprises semblent profiter de l'ambiguïté de certaines études pour mousser la vente de leurs produits.

À la lumière des informations fournies par divers organismes et professionnels consultés, Geneviève et Jean-Philippe ont renoncé à vendre leur demeure. Depuis l'étude de 1979, les recherches scientifiques ont permis d'éclairer le mythe entourant les CÉM-BFE. Le couple réalise que les inquiétudes soulevées par les études épidémiologiques n'ont pu être confirmées avec les études en laboratoire. Ils conviennent qu'il est difficile d'incriminer les CÉM-BFE à eux seuls pour les cas de cancers recensés. Un peu comme on ne peut désigner les patates frites comme étant la seule cause à l'obésité. Le jeune couple croit désormais que cette association est non fondée et que ce serait plutôt des facteurs connexes à l'industrialisation qui soient en cause. ¶

Par : Carl Paquin, Maryse Desrochers et Fanny Ruckstuhl

Août 2008, estuaire du Fleuve Saint-Laurent entre Rivière-du-Loup et Rimouski, vision d'horreur: Un immense cimetière jonché de carcasses de bélugas, de marsouins, de plusieurs dizaines de phoques ainsi que de centaines d'oiseaux marins et de poissons. Tous ont été empoisonnés par une toxine contre laquelle il n'y a ni vaccin, ni antidote. La responsable de cette catastrophe est une espèce d'algue microscopique qui a formé un bloom toxique d'une ampleur historique.

LA TOXINE

L'espèce d'algue responsable de ce bloom est l'*Alexandrium Tamarense*. Ce dernier est un dinoflagellé qui fait partie du phytoplancton, c'est-à-dire des algues microscopiques qui se retrouvent juste sous la surface de l'eau. Cette espèce a la capacité de produire une toxine paralysante appelée saxitoxine. Elle l'utilise pour se défendre contre ses prédateurs, mais aussi pour éliminer les autres espèces d'algues microscopiques qui entrent en compétition avec elle.

La saxitoxine exerce sa toxicité en s'accumulant dans la chaîne alimentaire. En effet, lorsque cette toxine se retrouve en grande quantité dans les mollusques, comme les moules, les clams, les palourdes ou les pétoncles, ceux-ci deviennent dangereux pour la santé animale et humaine. Ces mollusques accumulent la toxine dans leur chair sans être intoxiqués. Les animaux qui se nourrissent de mollusques contaminés par de fortes concentrations de cette toxine risquent d'être affectés par ce qu'on appelle une intoxication paralysante par les mollusques (IPM). La toxine est rapidement absorbée par leur système digestif. Elle est aussitôt stockée dans leur foie ainsi que dans différentes glandes digestives et affecte leur système nerveux. Les effets sur le système nerveux se manifestent moins d'une heure après

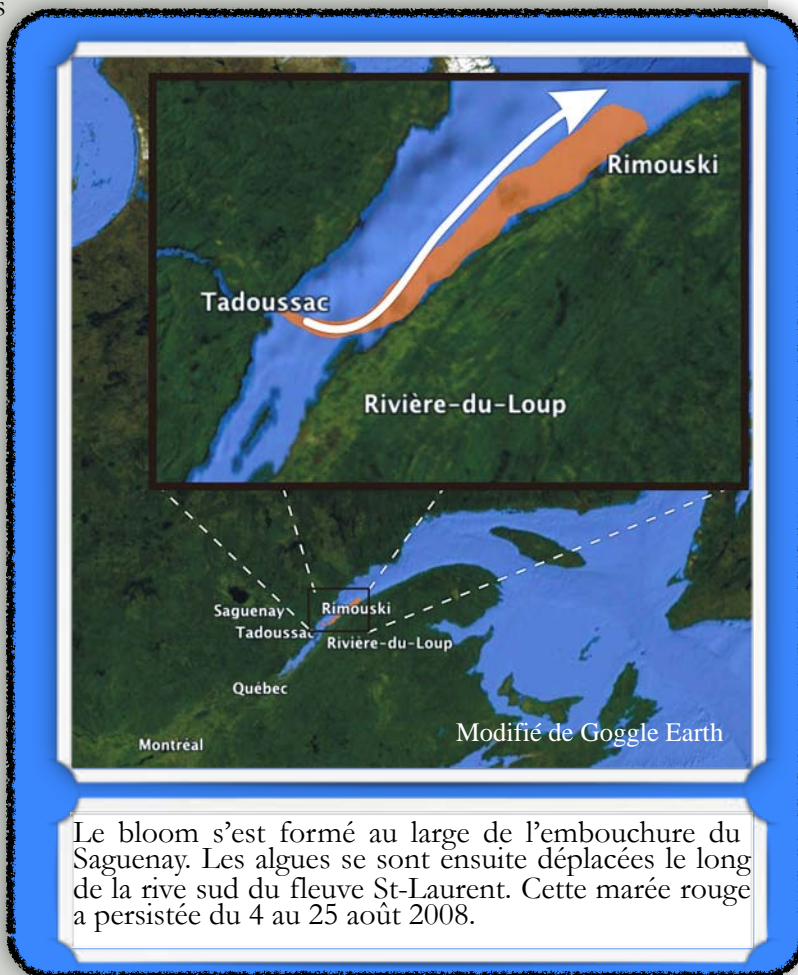
l'ingestion et dépendent de la quantité de toxine ingérée.

En faible quantité, cette toxine est éliminée par les reins de l'animal mais, chez l'être humain, elle peut tout de même entraîner des paralysies partielles temporaires, l'engourdissement des lèvres, de la langue, du visage, du cou ou bien causer des maux de tête et des sensations de vertiges. En quantité un peu plus importante, des difficultés d'élocution, des problèmes d'orientation, des nausées, des difficultés de coordination, des faiblesses musculaires généralisées, des difficultés respiratoires et des picotements ou engourdissements dans plusieurs régions du corps sont observables. Ingerée en grande quantité, cette toxine entraîne la mort par la paralysie des muscles respiratoires. La prolifération de ces algues toxiques, communément appelée

« marée rouge », peut donc être fatale pour certains animaux, comme ce qui a pu observer durant l'été 2008 dans l'estuaire du St-Laurent.

LES CARACTERISTIQUES DE CETTE SAXITOXINE

La saxitoxine résiste très bien aux changements de température, elle n'est donc pas détruite par la cuisson standard. La mise en conserve



ne suffit pas non plus à la neutraliser dans un produit contaminé.

Cette toxine est si dommageable pour les organismes supérieurs qu'elle figure sur la liste de la Convention sur les armes chimiques (Chemical Weapons Convention, CWC; liste 1). Elle pourrait même être utilisée en bio-terrorisme sous forme de poudre blanche sans odeur et sans goût. Elle est plus dangereuse que les toxines du même type fabriquées par l'homme. Cette saxitoxine provoque des effets nocifs sur l'homme non seulement lorsque qu'elle est ingérée, mais également lorsqu'elle est inhalée.

HISTORIQUE DES BLOOMS

QU'EST-CE QU'UNE TOXINE ?
Une toxine est une substance nocive pour un ou plusieurs organismes vivants. Ces substances toxiques sont élaborées par un organisme vivant, comme les dinoflagellés.

DANS LE ST-LAURENT

L'espèce *A. Tamarensis* est originaire de l'estuaire du St-Laurent. Chaque été, des floraisons sans conséquence grave y sont observées. Même les Amérindiens relatent des épisodes de bloom datant d'avant l'arrivée des premiers colons européens. Toutefois, le bloom d'août 2008 est exceptionnel, car, selon Maurice Levasseur, professeur à l'Université Laval et directeur général de Québec-Océan, « jamais auparavant il n'y a eu de mortalité de mammifères marins associée à un bloom d'algues toxiques. Celui d'août 2008 représente le plus gros événement jamais observé par les scientifiques dans l'estuaire du Saint-Laurent ».

EFFETS DES BLOOMS SUR LA CHAÎNE ALIMENTAIRE

Les mollusques, appartenant à la classe des bivalves, se nourrissant de ces algues et de leurs kystes (forme dormante) ne sont que très peu, voire aucunement affectés par la toxine. Ces mollusques ont donc la possibilité d'accumuler une très grande quantité de toxine et deviennent ainsi potentiellement dangereux s'ils sont consommés.

De plus, la toxine produite par le dinoflagellé *A. Tamarensis* s'accumule dans la chaîne alimentaire, affectant les animaux consommateurs de mollusques et également les espèces se nourrissant de ces consommateurs. Ceux-ci seront encore plus intoxiqués à cause de la bioamplification de la toxine. Par exemple, si des crevettes mangent une centaine d'algues toxiques et qu'un grand nombre de ces crevettes sont à leur tour mangées par un poisson, celui-ci cumulerait alors les effets néfastes d'une dizaine de milliers d'algues toxiques. Maintenant, imaginez un phoque qui mangerait une centaine de ces poissons ! Cela équivaut à l'ingestion d'une très grande quantité de toxine. Ainsi, au fil de la chaîne alimentaire,

QU'EST-CE QU'UN BLOOM ?
Un bloom est le résultat d'une multiplication soudaine et explosive d'algues. Leur concentration dans l'eau devient si importante qu'on peut parfois voir la couleur de ces algues du haut des airs. La couleur des blooms engendrée par les dinoflagellés est souvent rouge ou brunâtre. Cette coloration est causée par la présence d'un pigment dans les algues en question, d'où l'appellation fréquemment utilisée : « marées rouges ».

la toxine s'accumule de plus en plus d'une espèce consommatrice à l'autre. Ce phénomène est appelé la bioamplification.

LE FLEUVE ST-LAURENT : RECONNU MONDIALEMENT POUR SES BLOOMS

D'après M. Levasseur, c'est dans le fleuve St-Laurent que l'on mesure les blooms les plus importants d'*Alexandrium Tamarensis* et où sont enregistrées les plus importantes concentrations de toxines les plus surprenantes. Ces phénomènes sont principalement dus à deux caractéristiques du fleuve, soit (1) la circulation particulière des courants marins dans le St-Laurent et (2) l'apport constant en sels nutritifs.

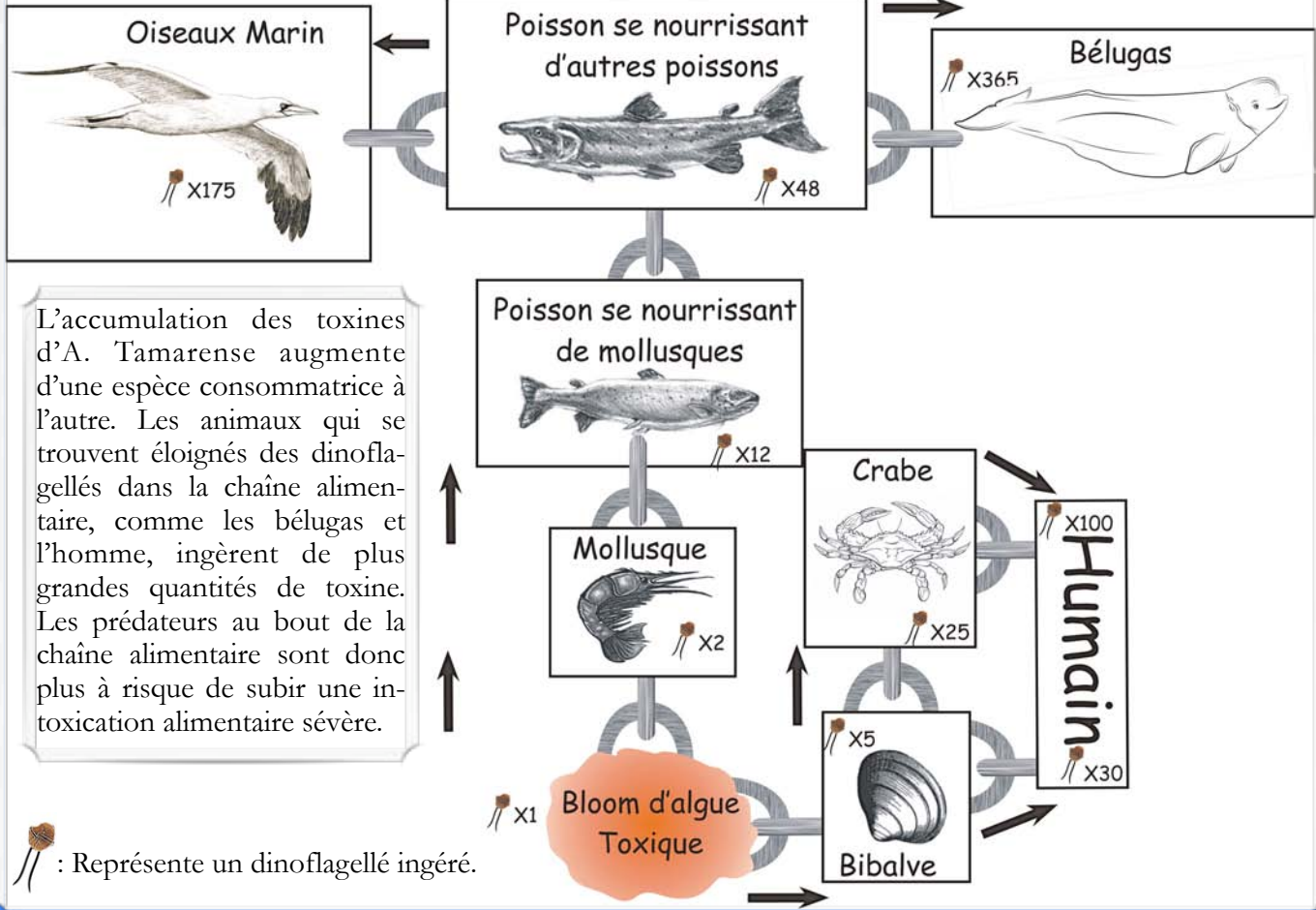
1) CIRCULATION DES COURANTS MARINS DANS LE ST-LAURENT

Les courants marins du St-Laurent favorisent le maintien de populations d'algues microscopiques dans ces eaux qui s'écoulent depuis les Grands-Lacs vers le Golf du St-Laurent. À la fin de l'été, l'espèce *A. Tamarensis* forme un kyste qui se dépose sur les fonds marins du Golf. À cet endroit, plusieurs courants marins de profondeur transportent l'eau de fond en amont dans le St-Laurent, c'est-à-dire en direction de Tadoussac (dans le sens contraire des courants de surface). Ainsi, les algues enkystées sont entraînées par ces courants et reviennent dans l'estuaire du fleuve, comme si elles étaient transportées par un gigantesque convoyeur. Arrivés près de la ville de Tadoussac, à l'embouchure du fjord du Saguenay, ces courants marins de profondeur se heurtent à un mur sous-marin de 250 m de haut et remontent ainsi à la surface.


2) APPORT CONSTANT EN SELS NUTRITIFS

Humain

Les concentrations montrées ne sont pas réelles et ne servent qu'à faciliter l'explication



L'accumulation des toxines d'*A. Tamarensis* augmente d'une espèce consommatrice à l'autre. Les animaux qui se trouvent éloignés des dinoflagellés dans la chaîne alimentaire, comme les bélugas et l'homme, ingèrent de plus grandes quantités de toxine. Les prédateurs au bout de la chaîne alimentaire sont donc plus à risque de subir une intoxication alimentaire sévère.

 : Représente un dinoflagellé ingéré.

Ces eaux profondes qui remontent le mur sous-marin à l'embouchure du fjord du Saguenay entraînent d'énormes quantités de sels nutritifs, dont l'azote et le phosphore, qui reposaient dans les sédiments au fond du fleuve. Ces nutriments sont essentiels pour la croissance du phytoplancton, dont les dinoflagellés. L'apport de ces nutriments favorise alors la prolifération d'espèce comme *A. Tamarensis*.

CONDITIONS PROPICES AU DEVELOPPEMENT D'UN BLOOM

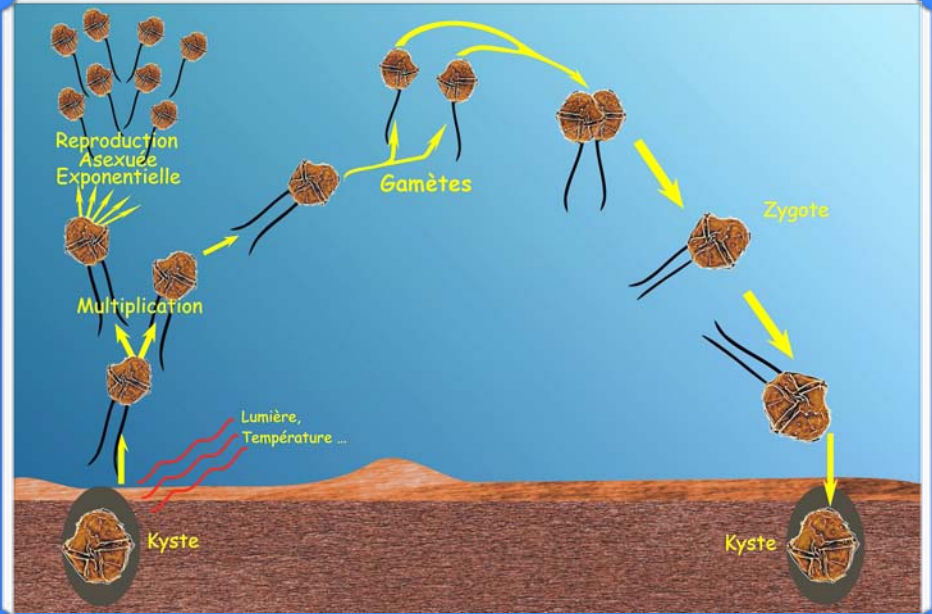
M. Levasseur précise que les conditions pour l'apparition d'un bloom (ou d'une floraison) sont: « (1) *des eaux riches en azote et en phosphore*; (2) *une faible salinité des eaux* et (3) *une stabilité de la colonne d'eau* ».

1. EAUX RICHES EN AZOTE ET EN PHOSPHORE

La quantité de sels nutritifs (azote et phosphore) dans l'eau augmente suite à des précipitations abondantes, puisque ces nutriments sont transportés par l'eau de ruissellement depuis les terres jusqu'au fleuve. De

plus, les rejets agricoles, qui contiennent d'énormes quantités de sels nutritifs, accentuent l'eutrophisation de plusieurs plans d'eau, incluant certaines parties du St-Laurent. Les milieux aquatiques eutrophes, donc qui contiennent des concentrations élevées de nutriments, constituent un milieu favorable au développement de l'algue microscopique *A. Tamarensis*, car ils regorgent de substances essentielles à sa croissance.

2. UNE FAIBLE SALINITE DES EAUX



CYCLE DE VIE D'ALEXANDRIUM TAMARENSE

Une partie du cycle de vie de ce dinoflagellé se passe sous la forme de kyste, soit une période de dormance où il est presque invulnérable. Quand les conditions deviennent propices, il sort de son kyste et se multiplie rapidement. C'est lors de cette prolifération importante que l'on observe l'apparition de bloom. Quand les conditions deviennent moins favorables et que les nutriments sont moins abondants, cette algue unicellulaire retourne sous la forme de kyste pour pouvoir recommencer son cycle quelques mois ou quelques années plus tard, lorsque les conditions seront de nouveau propices.

Selon les scientifiques en aménagement écosystémique de la forêt boréale, une augmentation des précipitations a été enregistrée dans la région de la Côte-Nord depuis quelques années. Les changements climatiques seraient à l'origine de ce phénomène qui provoquerait l'élévation des apports de sels nutritifs et d'eau douce dans le Saint-Laurent via le ruissellement. L'apport d'eau douce fait décroître la salinité des eaux de surface et contribue à la formation de couches d'eau sur le plan horizontal. Ces dernières sont composées d'une couche supérieure d'eau chaude et peu salée qui ne se mélange pas avec les couches inférieures d'eau plus froide et plus salée. Cette séparation de la masse d'eau du fleuve contribue à la stabilité des couches d'eau.

3. STABILITE DES COUCHES D'EAU

Les dinoflagellés aiment se retrouver dans un milieu où l'eau est stable. La stabilité des couches d'eau est également favorisée lors de périodes de faibles vents ou lorsque les vents sont de direction nord-est, c'est-à-dire contraire à la direction du courant d'eau de surface dans le fleuve St-Laurent. Ces conditions éoliennes combinées à des journées chaudes et ensoleillées et à un apport important en eau douce contribue à créer des couches d'eau superposées et stables. Ces eaux stables permettent aux algues microscopiques, de se multiplier sans risque d'être dissipées par la turbulence des eaux.

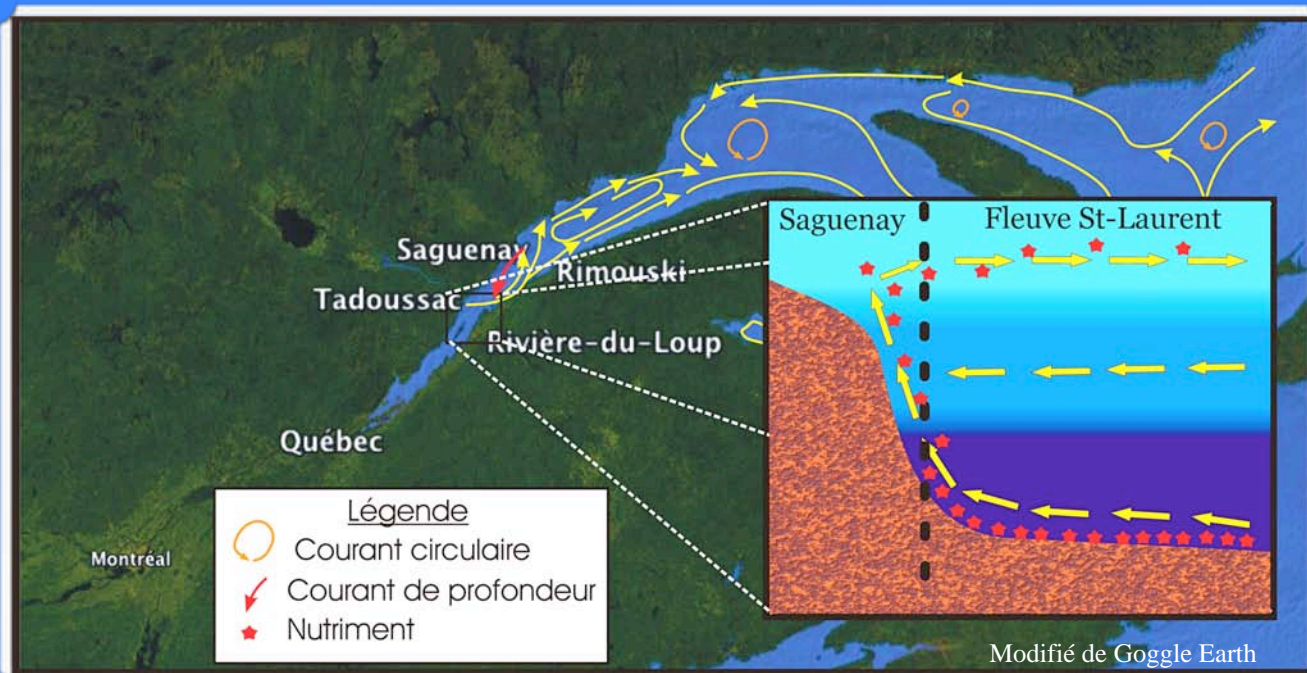
Ces conditions environnementales et climatiques peuvent également favoriser le développement de blooms de cyanobactéries. Toutefois, contrairement aux algues microscopiques, celles-ci se développent difficilement dans les eaux acides. La plupart des espèces de cyanobactéries prolifèrent d'avantage à la surface des plans d'eau douce qui ont de plus faibles courants et qui sont riches en phosphore. C'est pourquoi les blooms dans le St-Laurent sont principalement associés aux algues microscopiques comme l'espèce *A. Tamarense*.

LES CONSEQUENCES ET LE SUIVI DES BLOOMS

Selon le Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM) les floraisons d'*A. Tamarense* doivent être suivies, documentées et modélisées en raison de leurs impacts sur les activités de production animale ou végétale en milieu aquatique, comme la cueillette de mollusques, ainsi que sur la santé animale et humaine.

M. Levasseur nous informe que lors de période de bloom, l'équipe de l'Institut Maurice-Lamontagne (IML) du ministère des Pêches et Océans Canada, travaille de concert avec l'Agence canadienne de l'inspection des aliments (ACIA) pour analyser les concentrations d'algues toxiques dans les eaux et ainsi signaler les blooms à la population et fermer les zones de cueillette de mollusques si nécessaire. Grâce à cette précaution, les intoxications alimentaires et les paralysies attribuables à la consommation de mollusques contaminés en août 2008 furent évitées, du moins dans la population humaine.

Les loisirs comme la baignade ou la navigation ne présentent pas de danger immédiat et sont autorisées. Cependant, la baignade dans les zo-



Des courants sous-marins ramènent les eaux profondes du Golfe du St-Laurent vers l'intérieur du fleuve où elles finissent par remonter à la surface à l'embouchure de la rivière Saguenay. Cette remontée des eaux entraînant les nutriments qui se trouvaient au fond du fleuve.

nes affectées est déconseillée.

L'IML possède la capacité de prédire où se déplacera le bloom à partir de son point d'origine en utilisant un modèle qui simule la circulation des eaux du Saint-Laurent. Ainsi, en été 2008, les chercheurs ont pu constater que les endroits où les carcasses d'animaux furent retrouvées, correspondaient bien à la prédiction du déplacement du bloom calculé par leur modèle mathématique.

Actuellement, M. Levasseur, aidé de ses étudiants et de ses collègues, développe un modèle qui permettra d'avoir un indice de probabilité d'apparition d'un bloom en se basant sur l'ensemble des conditions environnementales générales dans lesquelles se développe l'espèce *A. tamarensis*.

De plus, cette algue émet de grandes quantités de gaz à effet parasol. Ceux-ci sont importants puisqu'ils ont un effet contraire aux gaz à effet de serre. Le suivi des floraisons de cette algue microscopique est donc

essentiel dans la compréhension des changements climatiques.

QUELQUES SOLUTIONS

M. Levasseur nous explique que « malgré les avancées des connaissances sur le sujet, ces blooms ne peuvent pas être arrêtés ». Toutefois, quelques actions collectives et individuelles pourraient contribuer à la réduction de la fréquence des marées rouges. En effet, M. Levasseur nous a confirmé que plusieurs municipalités qui bordent le Saint-Laurent déversent leurs rejets agricoles ou municipaux directement

dans le fleuve ! Il faudrait donc durcir les règlements municipaux concernant le traitement des eaux usées afin de les assainir avant de les rejeter dans le fleuve. Ce qui contribuerait à réduire l'apport en nutriments dans le St-Laurent. Toutefois, le directeur général de Québec-Océan souligne que collectivement, il faudrait accepter de payer pour ces traitements.

Mondialement, plusieurs solutions furent testées afin de limiter la multiplication des algues toxiques. Entre autres, l'ajout de poudre d'argile à l'eau sur une floraison de petite di-

QU'EST-CE QU'UN MILIEU AQUATIQUE EUTROPHE ? :

Un milieu eutrophe est un milieu aquatique qui devient de plus en plus riche en nutriments (principalement de l'azote et du phosphore). Cette augmentation de nutriments permet aux algues microscopiques et aux autres micro-organismes de proliférer. En proliférant, ces algues empêchent la lumière de pénétrer dans l'eau. Résultat : plusieurs plantes aquatiques meurent. Celles-ci ainsi que les algues mortes sont alors décomposées par des bactéries qui consomment de l'oxygène. L'augmentation de l'activité microbienne provoque donc une diminution des quantités d'oxygène disponible pour les autres organismes (poissons, plantes aquatiques, etc.). Très peu d'espèces peuvent donc vivre dans des eaux eutrophes, car peu de lumière arrive à pénétrer cette eau et le milieu aquatique est très pauvre en oxygène.

QU'EST-CE QU'UNE CYANOBACTÉRIE?

Les cyanobactéries, aussi appelées à tort algues bleues, sont en fait des bactéries capables d'utiliser l'énergie lumineuse du soleil pour croître et se multiplier, comme les algues et les plantes. Elles font partie des premières formes de vie apparues sur la Terre et on les retrouve dans pratiquement tous les environnements, des régions polaires aux sources thermales. La majorité des espèces de cyanobactéries marines vivent en association (symbiose) avec un autre organisme, comme à l'intérieur des éponges ou au fond de l'eau sur les sédiments de calcaire. C'est pour cette raison qu'il y a peu de blooms de cyanobactéries dans les eaux salées. Comme les dinoflagellés, certaines espèces de cyanobactéries libèrent des toxines pouvant être dangereuses pour les animaux ainsi que pour l'homme. Ces toxines peuvent affecter la peau, les muqueuses, le foie ou le système nerveux. Certaines d'entre elles peuvent aussi contaminer la chaîne alimentaire par bioamplification, tout comme la saxitoxine. Les blooms de cyanobactéries peuvent donc également être dangereux pour la santé humaine et animale.

	<i>Alexandrium tamarense</i>	Cyanobactéries
Taxon	Algues microscopiques	Bactéries photosynthétiques
Endroits propices aux blooms	Eau salée ou saumâtre, rarement en eau douce	Eau douce, rarement en eau salée ou saumâtre
Source de nourriture	Énergie lumineuse et sels nutritifs, notamment le phosphore	
Toxicité	Certaines espèces produisent une toxine dangereuse pour l'homme et les animaux	
Couleurs dominantes des blooms	Brun, rouge	Bleu, vert

mension permettrait d'emprisonner les algues avec les particules d'argiles. Sous l'effet de la gravité, l'argile collée aux algues coule vers le fond, provoquant ainsi la mort de celles-ci. Également, dans de petits plans d'eau, une turbulence pourrait être créée à l'aide d'une hélice pour contribuer à dissiper les algues et ainsi réduire leur prolifération. Toutefois, il est difficile d'imaginer de telles opérations à la grandeur du St-Laurent !

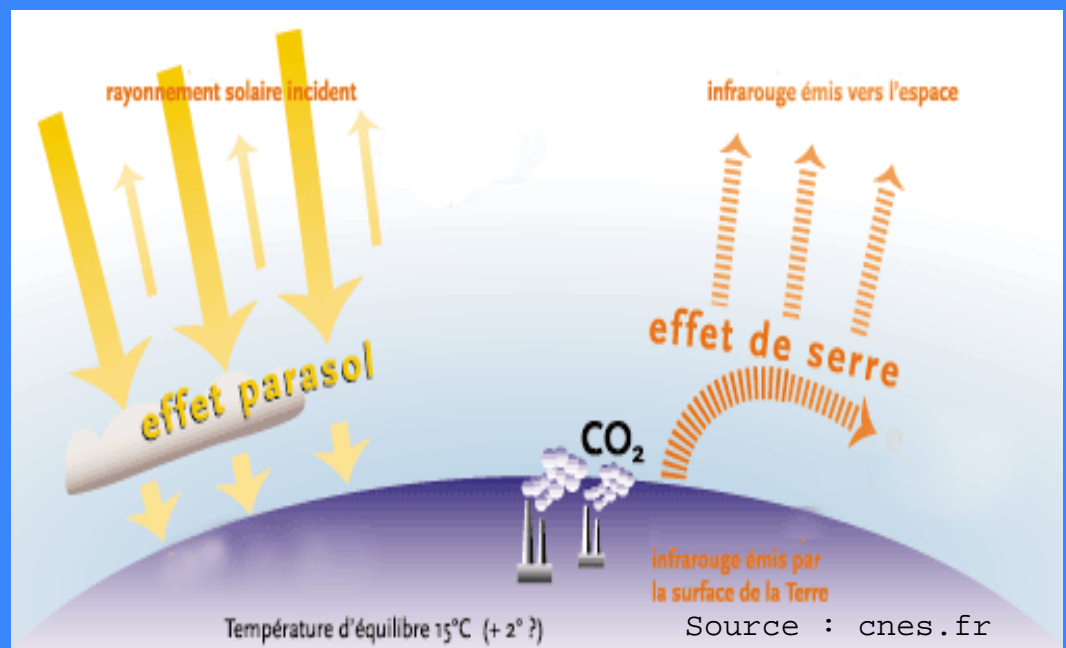
Sur le plan individuel, M. Levasseur rappelle que l'utilisation de savon sans phosphate diminue la quantité de sels nutritifs susceptibles de se retrouver dans le fleuve.

Il n'existe donc pas de solution miracle pour diminuer la fré-

quence et l'ampleur des marées rouges. La sensibilisation de la population et la surveillance des zones à risque restent nos meilleures armes contre ce phénomène. En effet, bien que l'épisode d'août 2008 ait été exceptionnel, les blooms d'algues toxiques sont de plus en plus fréquents à travers le monde à cause de l'augmentation de l'apport en nutriments dans les plans d'eau, du transport des algues par le transport maritime et des changements climatiques. Cependant, les découvertes et les connaissances sur ce sujet sont de plus en plus importantes, ce qui nous permettra bientôt d'anticiper et de réagir de manière plus efficace pour faire face aux floraisons d'algues toxiques. ¶

Nous remercions :

Monsieur Maurice Levasseur, Professeur à l'Université Laval et directeur général de Québec-Océan pour l'entretien qu'il nous a accordé. Nous remercions également Madame Véronik de la Chenelière du Groupe de recherche et d'éducation sur les mammifères marins (GREMM) d'avoir répondu à nos questions.



L'EFFET PARASOL

Les dinoflagellés émettent un gaz appelé **diméthylsulfure**. Ce gaz produit un effet parasol, c'est-à-dire qu'il empêche l'énergie du soleil d'atteindre la surface de la Terre. Ils provoquent donc une baisse de la température terrestre, contrairement aux gaz à effet de serre qui réchauffent notre planète.

EXPLOITATION MINIÈRE NORDIQUE ET ENVIRONNEMENT : UN COMPROMIS EN OR !

Par : Gabriel Bernard-Lacaille, Julie Fradette et Tania Perron

Qu'ont en commun une température hivernale pouvant atteindre $-59\text{ }^{\circ}\text{C}$ et 4 milliards de dollars? La réponse se situe au nord du Canada! Ces caractéristiques sont propres à un territoire nordique de ce pays, le Nunavut. Le Nunavut, c'est aussi une température estivale maximale de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, des blizzards fréquents, un sol gelé en permanence, l'isolement total... Voilà des caractéristiques peu attrayantes pour le commun des mortels. Néanmoins, saviez-vous que le sol du Nunavut regorge de gisements contenant des minerais tels que les diamants, l'uranium et l'or? Les compagnies minières le savent et convoitent ce territoire. En effet, en 2009, 142 gisements étaient en cours de prospection pour d'éventuelles extractions minières. Malgré ce potentiel minéral immense, l'exploitation minière au Nunavut est parsemée de défis pour les compagnies, particulièrement ceux reliés aux milieux et aux exigences environnementales strictes reliées aux terres appartenant aux Inuits. Pour explorer avec vous les défis de l'exploitation minière au Nunavut, nous suivons l'implantation d'un projet minier en particulier, soit le projet de la mine d'or de Meadowbank, dont la valeur brute du minerai est d'environ 4 milliards de dollars!

Face à la poussée du développement minier, les régions nordiques du Canada sont désormais convoitées pour des activités de recherche et de développement de nouvelles mines aurifères (mines d'or). Cette expansion en territoire nordique a été amorcée à cause de l'abondance des ressources minérales au Nord et de la forte compétition dans les territoires du Sud. Par contre, cette progression requiert une organisation accrue étant données les conditions particulières du milieu. L'exploitation des territoires nordiques soulève un questionnement par rapport aux impacts environnementaux pouvant perturber le fonctionnement de cet écosystème fragile, surtout lorsqu'on considère les vestiges laissés par des compagnies minières du Sud, peu responsables. Ainsi, bien que certains perçoivent positive-

ment le développement minier sur le plan des retombées, il reste critiqué par d'autres pour ses impacts environnementaux négatifs. Il en résulte des attentes considérables par rapport au maintien de l'intégrité des écosystèmes et celles-ci pèsent sur le pouvoir décisionnel des compagnies minières. La compréhension des impacts

environnementaux encourage le secteur économique à s'y adapter. De ce fait, certaines industries minières font un compromis entre l'exploitation et l'environnement.

Afin de faire le point sur l'exploitation minière en milieu nordique, notre équipe s'est intéressée à une mine en particulier, soit la mine de Meadowbank, propriété de la



© Julie Fradette

compagnie *Agnico-Eagle Ltd.* Cette entreprise minière aurifère est située au centre géographique du Canada. La construction de la mine est terminée et l'extraction du minerai a débuté en février 2010. Son caractère pro-environnement en fait un bon candidat pour explorer les tendances actuelles dans l'exploitation de l'or.

AGNICO-EAGLE DIVISION MEADOWBANK : UNE MINE À GRAND POTENTIEL

L'objectif de la compagnie Agnico-Eagle est de bâtir une entreprise qui se concentre sur la qualité, la croissance et une solide position financière, tout en protégeant l'environnement, en maintenant un milieu de travail sécuritaire pour les employés et en tirant un maximum de profit du prix de l'or. Division Meadowbank d'Agnico-Eagle est une mine aurifère à ciel ouvert, implantée au Nunavut sur la rive Ouest de la Baie d'Hudson. Le potentiel de la mine est évalué à 3,6 millions d'onces d'or et sa durée de vie est estimée à environ 9 ans. En considérant que la valeur de l'or est présentement d'environ 1100 dollars par once, la valeur brute du minerai sur le site minier serait approximativement de 4 milliards de dollars. L'isolement, la fragilité et l'hostilité des écosystèmes nordiques dans lesquels Meadowbank s'implante donnent un caractère distinctif à cette entreprise. Par conséquent, ce projet nécessite des attentions particulières tout au long de son développement

LA CONQUÊTE D'UN NOUVEAU TERRITOIRE

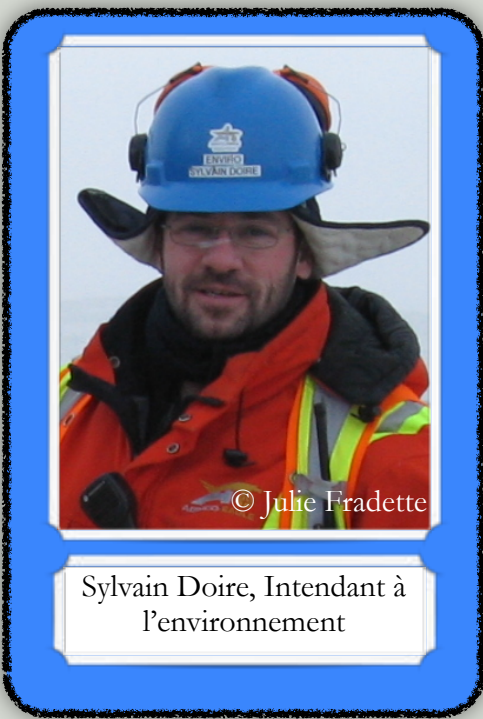
Lorsque le gisement d'or a été découvert en territoire Inuit, la compagnie *Agnico-Eagle Ltd* a d'abord fait face à une législation sous gouvernance locale. En effet, l'ensemble du territoire du Nunavut appartient aux peuples qui y habitent. Les Inuits

sont très impliqués dans les décisions gouvernementales. Il en découle alors que tous les habitants du Nunavut peuvent divulguer leur opinion par l'intermédiaire des députés de leur région sur des décisions telles

MODE DE VIE TRADITIONNEL
Un aspect non négligeable des communautés Inuits est leur diète. La diète traditionnelle Inuit est centrée sur la viande et le gras d'une variété d'espèces chassées tels les caribous, les poissons, les mammifères marins, les renards arctiques, les ours polaires et les ptarmigans (perdreux arctique). Une grande quantité de gras, dont la graisse de baleine est consommée pour fournir une source de chaleur et d'énergie. Les baies et les herbes saisonnières sont aussi incluses dans la diète. De plus, les Inuits ont une connaissance approfondie des plantes médicinales du Nord qui leur permettent de se tenir en bonne santé. Ainsi, grâce à leur mode de vie traditionnel, les Inuits ont développé des compétences uniques associées à leur vie sur les terres nordiques. Il est donc très important pour les compagnies minières de diminuer leurs impacts sur l'environnement naturel.

que l'acceptation d'un nouveau projet minier. La différence avec les autres régions du Canada vient du fait que le territoire appartient aux Inuits. La décision d'accepter ou non le projet dépend du poids de ses aspects positifs et négatifs et est importante pour la population locale. Un des points bénéfiques de la mine de Meadowbank est qu'elle apporte une solution partielle au taux de chômage

élevé dans la communauté inuit, en offrant un nombre considérable d'emplois. Comme l'a mentionné Sylvain Doire, intendant à l'environnement de Meadowbank : « *La compagnie priorise l'embauche d'Inuits pour les emplois et leur fournit la formation nécessaire. Il y a aussi des possibilités d'avancement dans la compagnie en fonction de leur expérience* ». De plus, l'accès à un régime d'assurance santé est un autre point positif relevé par les Inuits. Néanmoins, ce peuple dont les valeurs sont axées sur la conservation de l'environnement et le respect de la nature, impose une réglementation très stricte par rapport aux impacts environnementaux. En fait, étant donné leur mode de vie traditionnel, les Inuits sont extrêmement conscients de la fragilité de leur territoire (voir l'encadré). Il est donc primordial pour la compagnie minière de proposer des alternatives qui minimisent les effets négatifs potentiels sur l'environnement en tenant compte des conditions de ce milieu.



Sylvain Doire, Intendant à l'environnement



Site de la Mine d'Agnico-Eagle Ltd division Meadowbank à vue aérienne.
Source : Agnico-Eagle Ltd

TERRITOIRE HOSTILE ET FRAGILE

Le milieu nordique où s'est installé Meadowbank est hostile et fragile pour différentes raisons telles que ses températures extrêmement froides, ses vents violents, son climat sec, ainsi qu'une faune et une flore dont les cycles de vie dépendent de ces conditions. Ces caractéristiques génèrent des difficultés d'exploitation absentes des provinces du Sud. De ces obstacles, notons la faible tolérance des véhicules et de la machinerie à ces conditions. Les blizzards d'hiver, c'est-à-dire de fortes tempêtes de vent, occasionnent des problèmes de moteurs et de visibilité pour les conducteurs, ce qui augmente le risque d'accident. De plus, les grands froids favorisent la rupture de tuyaux entraînant des fuites de carburant ou d'huiles qui contribuent à la contamination des sols.

Or, le sol du Nunavut est gelé la majeure partie de l'année, caractéristique que l'on nomme pergélisol. Même en été où les températures varient autour de 15 à 20 degrés Celsius, le sol ne dégèle au maximum que sur une profondeur d'environ un mètre. L'ac-

tivité bactérienne y est donc considérablement ralentie par rapport aux régions du Sud. Certaines bactéries présentes dans le sol ont permis de dégrader les constituants organiques et de libérer des éléments primaires essentiels à la croissance des végétaux comme l'azote, le phosphore et le potassium. Les plantes utilisent ces éléments pour croître, puis servent de nourriture aux consommateurs secondaires qui réutiliseront ces éléments pour leur croissance. Le passage des éléments entre les bactéries, les plantes et les animaux est appelé un réseau trophique. En présence de pergélisol, tel celui du Nunavut, ce sont tous les échanges d'éléments qui fonctionnent au ralenti entre les différents niveaux de la chaîne trophique. Ce sol gelé en quasi permanence offre une courte saison de croissance végétale d'une durée de deux mois seulement. Cela ne permet pas aux plantes supérieures de survivre dans cet écosystème. La flore de l'écosystème du Nunavut est dominée par les mousses, les lichens et les petits arbustes (voir encadré). La croissance de ces organismes est plus lente dans cette région comparativement à celle au Sud à

cause de la période de croissance fortement raccourcie et du ralentissement des échanges d'éléments dans le réseau trophique. Ainsi, un arbuste abimé ou écrasé par les travaux miniers ne récupérera pas aussi rapidement. Stéphane Robert, surintendant en environnement à Meadowbank ajoute : « *La mine tente de réduire au maximum son empreinte autour du site, car le temps de régénération de la flore est considérablement allongé ce qui contribue à la fragilité du milieu.* » Un écosystème est défini par les interactions entre les communautés d'organismes et leur environnement. Dans le Nord, étant données les conditions météorologiques extrêmes, une certaine stabilité s'est développée au

sein de ces écosystèmes. Ils peuvent absorber un certain niveau de perturbations sans que leur état de stabilité change. Par contre, étant donnée leur régénération lente, le temps de résilience, c'est-à-dire le temps de retour à l'état de stabilité en réponse à une perturbation, est allongé. C'est la raison principale pour laquelle l'écosystème du Nunavut est très fragile. En effet, le temps de résilience suite à l'exploitation minière peut être de plusieurs décennies, même plus. Le changement dans la stabilité d'un écosystème peut fortement influencer la production végétale et animale de ce dernier. Il en découle des conséquences néfastes sur les populations locales Inuits au mode de vie traditionnel qui dépendent de la productivité de cet écosystème (voir encadré).

LES ÉTUDES D'IMPACTS

Les aspects de la stabilité d'un écosystème doivent être pris en compte tout au long de la vie d'une mine. À cette fin, des études d'impacts sont réalisées par des experts embauchés par la compagnie minière. L'objectif de ces études est de caractériser les composantes essentielles au fon-

tionnement de l'écosystème et de prévoir les impacts potentiels de l'exploitation minière sur celles-ci. Ces études proposent aussi des méthodes et des suivis pour minimiser les conséquences sur l'environnement. Grâce à elles, la compagnie peut élaborer un plan rigoureux d'exploitation qui tient compte des

LA TOUNDRA ARCTIQUE : LA FLORE DU NUNAVUT

La flore de la toundra arctique compte un grand nombre d'espèces de fleurs (200 espèces), de lichens et de mousse qui ont su s'adapter au climat rigoureux de l'hiver et aux étés courts dont la durée d'ensoleillement est pratiquement continue. Ces adaptations sont perçues par la capacité de la plupart des espèces à produire de nouvelles pousses à partir des tiges et des racines existantes et à leur capacité de croître en un tapis bas et touffu. Cette croissance au ras du sol permet une protection contre les vents ainsi que l'accès à des températures plus chaudes induites par la proximité du sol. De plus, les racines de ces espèces sont courtes et donc adéquates pour un sol qui dégèle de seulement un mètre en été. Le pergélisol sous-jacent retient l'humidité des couches supérieures et augmente ainsi les conditions propices à la croissance végétale. D'autres adaptations telles une tige velue, des graines recouvertes d'une enveloppe laineuse et une pigmentation foncée permettent d'absorber et de conserver la chaleur. Ce type de flore est propre aux écosystèmes nordiques et est très sensible aux perturbations du milieu étant donné les étonnantes adaptations qu'elle a développées face à ce milieu hostile.

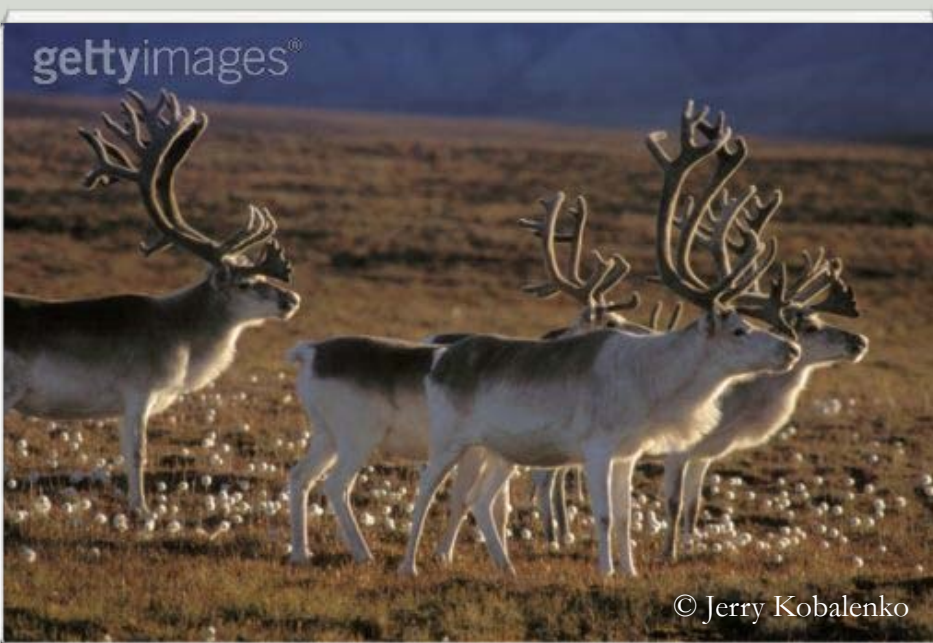
impacts environnementaux à court et à long terme et ce, pour chaque étape de l'exploitation.

La vie d'une mine peut être divisée en quatre étapes : 1) l'exploration et les études de faisabilité, 2) la planification et la construction, 3) l'extraction, et 4) la fermeture et la restauration. Chacune de ces étapes comporte son lot d'enjeux environnementaux. Parmi les enjeux les plus importants estimés dans les études d'impacts, notons : la destruction d'habitats par la construction de routes et de bâtiments, l'immense quantité de rejets miniers produits et les risques de contamination aux produits toxiques utilisés. De plus, malgré la qualité des études d'impact, il existe toujours des impacts qui sont imprévisibles. Pour illustrer l'implication des études d'impacts dans la prévision et la gestion des effets de l'exploitation minière sur l'environnement, quelques exemples concrets provenant du vécu de la mine de Meadowbank vous seront présentés. Finalement, une capsule finale vous exposera les aspects importants d'une restauration d'un site minier.

D'abord, une fois le projet d'exploitation proposé par la compagnie ac-

cepté, des routes doivent être construites afin de permettre l'accessibilité au site minier. La construction de routes a un impact direct sur la faune en fragmentant les habitats et sur la flore en la détruisant. À Meadowbank, la construction de routes nécessite de considérer la présence périodique d'espèces migratrices. Par exemple, la route qui relie le site minier au village le plus près, Baker Lake, traverse le corridor migratoire des caribous qui voyagent par groupe de plusieurs milliers d'individus. Pour éviter de perturber les migrations printanières et automnales de cette espèce, la minière effectue un suivi des populations en identifiant et en suivant à l'aide de collier satellite la trajectoire de certains individus du groupe. Ainsi, toute circulation sur la route est interdite lorsque les caribous approchent de celle-ci. Cette interdiction évite de mettre un obstacle supplémentaire à la migration en plus de diminuer les risques d'accident. Les études d'impact ont permis de prévoir l'effet de la route sur l'environnement naturel et ont proposé une solution pour les minimiser.

En plus des caribous, le Nunavut accueille une panoplie d'oiseaux mi-



L'extraction et le traitement du minerai : de l'or ... oui, mais comment le purifier ?

L'or est habituellement retrouvé en très petite quantité dans des veines rocheuses et associé à plusieurs autres métaux. Il faut donc avoir recours à des procédés efficaces pour le purifier. Au Canada, le procédé utilisé dans 90% des cas est celui impliquant le cyanure de sodium. À l'état liquide, ce composé permet la dissolution de l'or, de l'argent et de traces de zinc et de cuivre. Une fois recueillie, cette solution cyanure-or-argent est traitée avec une résine qui attire ces métaux tel un aimant et permet la séparation des métaux (or et argent) de la solution de cyanure. Le zinc et le cuivre résiduels sont dilués à l'acide sulfurique permettant de les solubiliser et de les séparer de l'alliage d'or-argent restant. Pour séparer l'or de l'argent, deux procédés peuvent être utilisés. Le premier consiste en un raffinement par électrolyse qui sépare l'argent de l'or par une activation électrique. Le deuxième implique la dissolution de l'or dans de l'acide sulfurique ou nitrique chaude diluée. L'étape finale consiste à faire chauffer l'or pour couler les lingots.

grateurs pendant la saison estivale. Ces oiseaux viennent habituellement pour la période de reproduction, car ils y sont à l'abri de nombreux prédateurs présents au Sud. Pour éviter toute contamination de la faune ayant besoin de s'abreuver, une grande attention est portée pour minimiser le rejet de composés toxiques dans le bassin à résidus miniers. Le composé utilisé pour la purification de l'or à Meadowbank est le cyanure (voir encadré). Selon Stéphane Robert, le plus grand risque toxicologique de l'exploitation minière à Meadowbank repose sur la gestion des cyanures. À forte dose, ce produit a un potentiel toxique non négligeable. En effet, il entre facilement dans l'organisme animal par inhalation, par ingestion et par contact cutané. Il exerce sa toxicité en inhibant une enzyme importante de la respiration cellulaire, la cytochrome oxydase. Cette enzyme joue un rôle majeur dans la production d'énergie. Son inhibition diminue radicalement les quantités d'énergie dans les tissus des organismes affectés et il peut en résulter des conséquences importantes telle une mort par asphyxie. Pour éviter ce type d'intoxication, la mine a prévu d'installer un mécanisme de recyclage et de destruction du cyanure avant de le rejeter dans le bassin à résidus. La technique utilisée pré-

vient la présence d'une grande concentration de cyanure dans le bassin et on évite ainsi l'installation de barrières physiques qui empêcheraient l'accès des animaux au bassin. Les prédictions des études d'impacts permettent donc à la minière de diminuer son effet toxique sur la faune pendant la période d'exploitation.

Par contre, les études d'impacts ne peuvent prédire tous les dangers environnementaux provoqués par la mine. Par exemple, la minière est consciente du danger que posent les hydrocarbures, mais ne peut prédire l'endroit où ils pourront contaminer les sols. Le diesel contient une quantité importante d'hydrocarbures. Il constitue la source d'énergie primaire dans les bâtiments, les véhicules et la machinerie d'extraction sur le site de Meadowbank. Comme la compagnie est installée dans un milieu éloigné où la voie maritime est ouverte seulement deux mois par année, le pétrolier ne peut faire qu'une seule livraison à cet endroit, grâce au fleuve Thelon. Pour la minière, cela nécessite donc la présence d'énormes réservoirs de diesel sur le site afin de subvenir aux besoins de la mine qui atteignent 65 000 à 80 000 litres de diesel par jour. Dans l'éventualité où ces réservoirs se verraient endommagés, une grande quantité de diesel

pourrait être libérée dans l'environnement. Afin de diminuer les impacts négatifs d'une telle situation, les réservoirs sont disposés dans un bassin de rétention délimité de membranes dans le sol pour maintenir le diesel libéré dans un périmètre restreint. Une des caractéristiques des hydrocarbures qui contribuent à leur toxicité est leur capacité de se déplacer rapidement dans le sol et de s'étendre sur un large périmètre. L'installation du bassin limite ainsi la propagation dans le sol. De plus, quatre réservoirs de diesel d'une capacité de 10 millions de litres se trouvent dans le village de Baker Lake, à environ 115 km du site minier. Un transport journalier du carburant entre le village et la mine est donc essentiel. Entre les blizzards d'hiver et la brume d'été, les conditions climatiques ne favorisent pas toujours une bonne visibilité, ce qui augmente le risque d'accident et de déversements, dans des lieux où personne ne peut prévoir où de tels accidents se produiraient. Pour minimiser les impacts d'un déversement, la minière prévoit de recueillir les sols contaminés et de les entreposer jusqu'à la fin de l'extraction. Après cette période, la mine traitera les sols contaminés à l'aide d'une méthode utilisant des bactéries destructrices d'hydrocarbures (voir capsule finale). La dégradation des hydrocarbures prend en moyenne 3 ans au Sud alors que le temps nécessaire est estimé à 9 ans au Nord, car l'activité bactérienne est ralentie par le froid. Dans un même ordre d'idée, M. Robert affirme: « *Ce processus de dégradation des hydrocarbures est réalisable dans les régions nordiques, mais il s'avère être beaucoup plus compliqué que dans les régions du Sud* ». Il est donc essentiel de minimiser le risque de contamination des sols aux hydrocarbures dans les systèmes nordiques.

Cependant, si certains incidents comme les déversements d'hydrocarbures sont imprévisibles, mais contrôlables, d'autres sont toutefois inattendus. Un exemple d'impact en-



© Julie Fradette

Nouvel incinérateur de Meadowbank

environnemental inattendu à Meadowbank est celui de la gestion des déchets ayant été en contact avec de la nourriture. La présence de nourriture sur le site attire les animaux locaux et les rend vulnérables aux collisions avec les véhicules en circulation. De plus, une dépendance de ces animaux envers la nourriture humaine peut limiter leur capacité de survie suite à la fermeture de la mine. Il était prévu qu'il y ait un incinérateur sur place pour consumer tous ces déchets. Cependant, l'année dernière, on a remarqué que les cendres résultantes attiraient tout de même les loups sur le site. Les déchets n'étaient donc pas brûlés adéquatement. La mine a alors investi dans un nouvel incinérateur qui brûle les déchets ainsi que la fumée de la combustion de ceux-ci. Ce nouvel incinérateur satisfait les normes de libération des composés toxiques reliés à la combustion. Maintenant que l'incinérateur est fonctionnel, il reste à conscientiser les employés en ce qui concerne l'importance de mettre les déchets ayant été en contact avec de la nourriture à l'endroit approprié. Cela reste un défi, car il y a un grand roulement de personnel et tous n'ont pas la même conscience environnementale.

tauration, d'exploitation et de fermeture. Des lois sont déjà instaurées par le gouvernement du Canada, mais il faut encore s'assurer qu'elles soient respectées. L'application des lois dans ce secteur d'activité constitue une problématique pour le pays. Comme l'exploitation de minéraux détient une grande importance dans l'économie nationale, les compagnies minières se voient parfois accorder certaines permissions. Par exemple, une loi stipule que les compagnies minières doivent déboursier les frais nécessaires à la restauration du site et ce, avant le début de toute exploitation. Malgré l'existence de cette loi, certaines compagnies n'ont pas payé les sommes requises. Comme certaines d'entre elles ont fait faillite par la suite, la restauration du site et les coûts reliés aux travaux deviennent la responsabilité du gouvernement et contribuent à augmenter la dette du pays. D'ailleurs, la dette de restauration des

Ainsi, grâce aux sites miniers s'élève aujourd'hui à études d'impacts et à la responsabilité environnementale de la mine, il est possible de diminuer les impacts négatifs tant à court terme qu'à long terme par l'application de lois concernant les suivis économiques et environnementaux durant les périodes d'ins-

tauration, d'exploitation et de fermeture. Des lois sont déjà instaurées par le gouvernement du Canada, mais il faut encore s'assurer qu'elles soient respectées. L'application des lois dans ce secteur d'activité constitue une problématique pour le pays. Comme l'exploitation de minéraux détient une grande importance dans l'économie nationale, les compagnies minières se voient parfois accorder certaines permissions. Par exemple, une loi stipule que les compagnies minières doivent déboursier les frais nécessaires à la restauration du site et ce, avant le début de toute exploitation. Malgré l'existence de cette loi, certaines compagnies n'ont pas payé les sommes requises. Comme certaines d'entre elles ont fait faillite par la suite, la restauration du site et les coûts reliés aux travaux deviennent la responsabilité du gouvernement et contribuent à augmenter la dette du pays. D'ailleurs, la dette de restauration des sites miniers s'élève aujourd'hui à près de 300 millions de dollars, comme il est possible de le constater dans la capsule finale, et elle sera payée par les contribuables, faute de paiement des compagnies ayant exploité le site.

Finalement, bien que l'industrie minière se soit beaucoup développée depuis les dernières décennies, il faut garder en mémoire que les minéraux du sol ne sont pas une ressource renouvelable. L'objectif du développement durable est de concilier la protection de l'environnement, l'efficacité économique et la justice sociale, en vue de répondre aux besoins des générations présentes sans compromettre les besoins des générations futures. Par contre, ces objectifs ne peuvent pas être atteints dans le secteur minier, car les minéraux sont une ressource non renouvelable. Ainsi, les impacts sur l'environnement seront toujours présents suite à l'extraction du minerai, même si la mine est fermée depuis des années. Donc, il est important de s'interroger sur la pertinence d'extraire autant d'or, surtout en considérant que ce minerai est principalement utilisé pour la joaillerie. ¶



© Julie Fradette

Installation minière (vue de loin) de Meadowbank et le lac gelé devant celle-ci

Des saules pour nos sols ?

Par : Alexandre Fortin, Alexis Latraverse, Valérie Plante et Simon Redondo

La pollution des sols est un des problèmes les plus graves résultant de l'activité humaine. Un rapport publié en 2001 par le Ministère du Développement Durable, Environnement et Parcs du Québec a recensé près de 5125 terrains contaminés au Québec, dont plus de la moitié dans la région de Montréal et en Montérégie. Les types de contaminants les plus fréquents sont : les produits dérivés du pétrole (hydrocarbures), les métaux lourds et les pesticides. Ces derniers proviennent de sources aussi diverses que l'agriculture, les zones urbaines, l'industrie chimique, métallurgique et minière et posent de sérieux problèmes d'extractions.

Comme ces substances constituent un risque pour la santé humaine et l'environnement, différentes techniques ont été mises au point pour les éliminer du sol. Dans la plupart des cas, le sol contaminé est tout simplement enlevé et transporté vers un site d'enfouissement ou vers un centre spécialisé où il subira un traitement chimique ou

thermique. Il existe aussi certaines méthodes alternatives moins invasives, dont la phytoremédiation ou phytorestoration qui tire profit de la faculté qu'ont certaines plantes à dégrader ou stocker les polluants.

Pour en savoir un peu plus, nous avons parlé à Marc-André Bergeron, biologiste chez Northex, une compagnie montréalaise spécialisée dans la décontamination des sols. Celui-ci nous a vanté les mérites du saule, une plante souvent utilisée dans le traitement de la contamination par les hydrocarbures et les métaux.

*« Les espèces de saules arbustifs sont indubitablement les plantes les plus performantes. Leur croissance rapide et leur développement racinaire important en font des plantes prescrites pour la phytoremédiation »,
Marc André Bergeron.*

Les mécanismes de la phytoremédiation

Un arbre comme le saule peut contribuer à la décontamination des sols grâce à différents mécanismes. Les hydrocarbures, une fois extraits du sol, sont transformés à l'intérieur de la plante en

composés moins toxiques ou inoffensifs (**phytodégradation**). Ensuite, il sont incorporés dans les feuilles et les tiges ou bien rejetés dans l'atmosphère (**phytovolatilisation**). Les métaux lourds, quant à eux, seront simplement séquestrés dans les branches, le tronc, les racines et les feuilles (**phytoextraction**).

Un autre mécanisme important de la phytoremédiation est la dégradation des polluants par les microorganismes (champignons et bactéries) associés à la rhizosphère, c'est-à-dire le sol entourant le système racinaire de la plante (**rhizhodégradation**).

Enfin, les arbres peuvent agir comme des pompes qui empêchent l'eau, et les polluants qu'elle contient, de s'enfoncer dans le sol et de polluer les eaux souterraines (**phytostabilisation**).

Avantages et limites:

La phytoremédiation comporte un certain nombre d'avantages, ce qui la distingue des autres méthodes. Ainsi, en plus d'être moins coûteuse et plus esthétique, la phytoremédiation contribue à rétablir la biodiversité sur les sites traités en favorisant la création d'habitats pour les animaux. Cependant, un inconvénient majeur de la phytoremédiation est son manque de rapidité. Son efficacité est aussi limitée par la profondeur du système racinaire des plantes utilisées. Aussi la phytoremédiation est souvent moins performante en présence de concentrations élevées de polluants. ¶



Source : manx.wordpress.com

LE BACCALAURÉAT EN BIOLOGIE EN APPRENTISSAGE PAR PROBLÈMES

- **Approche pédagogique novatrice qui met l'accent sur l'étudiant et les besoins de formation de demain**
- **Classe de 12 étudiants accompagnés d'un tuteur**
- **Premier cours à notre centre écologique de Saint-Michel-des-Saints**
- **Équipe dynamique, professeurs réputés**
- **Choix de 3 axes pour la 3^{ème} année :**
 - **Biologie moléculaire et biotechnologie**
 - **Toxicologie et santé environnementale**
 - **Écologie**
- **Stage de recherche ou stage en entreprise**
- **Préparation aux cycles d'études supérieures**
- **Possibilité de stage à l'étranger**

Pour plus d'informations,
communiquez avec le module de biologie!
Passez nous voir : 2080, rue St-Urbain, SB-R810
Par téléphone : (514) 987-3654
Par courriel : moduledebiologie@uqam.ca
Ou visitez notre site web : www.bio.uqam.ca