

Guide canadien d'évaluation des incidences sur la santé

Volume 2

Prise de décisions en matière d'évaluation des incidences de l'environnement sur la santé

VERSION DE TRAVAIL/NE PAS CITER

Decembre 1999

Ce document a été divisé dans une série de fichiers pour faciliter leur téléchargement de notre site du web.

Forêts

Perspective canadienne

Le Canada compte quelques 418 millions d'hectares de forêt, soit 42% de la superficie totale du pays. La surface capable de produire du bois commercial est de 245 millions ha. Environ 63% de la forêt commerciale est constituée de peuplements de résineux (conifères), 15% de forêts feuillues et 22% de forêts mixtes. Les gouvernements provinciaux gèrent 71% des forêts du pays alors que les gouvernements fédéral et territoriaux en gèrent 23%. Le reste, soit 6%, est constitué de forêts privées qui appartiennent à plus de 425 000 propriétaires.

En 1993, la contribution de l'industrie du bois et du papier au PIB canadien fut de 19,8 milliards de dollars, 40% étant toutefois attribuable au secteur des pâtes et papiers. Le secteur des forêts était celui qui rapportait le plus de recettes en devises étrangères, contribuant pour 28 milliards de dollars à la balance commerciale. L'industrie forestière fournissait des emplois directs à près de 370 000 personnes en 1994.

La forêt au Québec

Le territoire québécois se divise en trois grandes zones de végétation : la toundra au nord du 55^e parallèle; la taïga, composée de peuplements d'épinettes noires dispersées sur un tapis de lichens, entre les 52^{ème} et 55^{ème} parallèle; et la forêt, au sud du 52^{ème} parallèle. Cette dernière zone, qui est commercialement exploitée, couvre 757 900 km² et se divise en trois autres zones, soit la forêt boréale (conifères) au nord (appartenant en presque totalité au gouvernement du Québec), la forêt mélangée (feuillus et conifères) au centre et la forêt de feuillus au sud, principalement dans la plaine du saint-laurent ainsi que dans l'outaouais et le témiscamingue.

Bien que la forêt feuillue située au sud de la province appartienne en grande partie à des propriétaires privés, l'immensité de la forêt boréale, qui constitue 73% de la forêt commerciale, fait en sorte que le gouvernement québécois est propriétaire de 85% de la forêt dans son ensemble. Dans ce contexte le gouvernement s'est donné le mandat de mettre en œuvre diverses pratiques visant à protéger la forêt commerciale contre le feu, les insectes ravageurs et la végétation compétitrice tout en s'assurant de sa régénération et de son accès pour la pratiques de diverses activités.

La présence de la forêt est la source d'une intense activité économique compte tenu qu'un peu plus de 30 millions m³ de matière ligneuse est récoltée annuellement. Ce volume est équivalent à 460 000 camions de 45 pieds contenant 65 m³ de billes de bois non écorcées de dimension moyenne. En 1994, mis bout à bout, ces camions auraient formé une chaîne de quelque 6 000 kilomètres (comparativement à la longueur du Canada qui a ____ km de saint-jean (terre-neuve) jusqu'à victoria (Colombie-Britannique). À la même époque, 76 000 personnes travaillaient dans des emplois directement liés à l'exploitation forestière ou dans l'industrie du bois de coupe et celle du papier, ce qui représente 2,4% de la main-d'œuvre québécoise. En termes monétaires, la valeur des livraisons de l'industrie forestière (exploitation en forêt, transformation en bois d'œuvre et industrie des pâtes et papiers), a été de 15,5 milliards \$ en 1994; on comptait 62 usines de pâtes et papiers et mille usines de sciage.

Sources :

Canada (1996) l'état des forêts au Canada, 1995-1996. Service canadien des forêts, Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Canada, 112p.

Canada (1996) l'état de l'environnement au Canada. Gouvernement du Canada, 820p.

Parent, b. (1996) ressources et industrie forestières; portrait statistique de 1996. Ministère des Ressources naturelles, gouvernement du Québec, 142p.

Utilisation de phytocides pour le dégagement en régénération forestière

Le terme phytocide est employé en foresterie, mais il a le même sens que le mot herbicide en agriculture; d'ailleurs une même substance peut être vendue pour l'une ou l'autre utilisation sous un nom commercial différent.

L'utilité des phytocides

On utilise habituellement les phytocides afin d'assurer la régénération des jeunes conifères après la coupe. Les jeunes arbres, dont la croissance est relativement lente, doivent faire face à la compétition de la végétation compétitrice ou concurrente. Cette dernière est composée de l'ensemble des espèces pionnières qui se développent rapidement à la suite d'une perturbation (coupe par l'homme, destruction de la forêt par le feu, le vent, la neige ou des insectes ravageurs). En interceptant la lumière, en absorbant l'eau et les éléments nutritifs ainsi qu'en occupant beaucoup d'espace, ces plantes nuisent parfois aux jeunes arbres qui croissent naturellement ou qu'on a plantés. Ce ne sont pas des espèces nuisibles, mais plutôt des espèces opportunistes qui se développent rapidement. Parmi ces végétaux, citons l'épilobe à feuille étroite, le framboisier, les graminées, le bouleau à papier et l'aulne rugueux.

Précisons ici qu'il existe tout un ensemble d'approches et de techniques qui permettent de limiter le recours au contrôle mécanique ou chimique de la végétation concurrente. Ces approches sont regroupées selon leur mode d'action : biologique (utilisation d'organismes brouteurs en pâturage), biomécanique (par exemple, utilisation de paillis pour limiter la croissance de la végétation compétitrice), mécanique et par phytocides (utilisation de produits chimiques pour maîtriser la croissance de la végétation). En règle générale, on utilise le dégagement mécanique qui implique l'emploi de divers outils permettant la coupe de la végétation concurrente (faucheuses motorisées ou Manuelles, machettes, scie circulaires, etc.) et le dégagement chimique par phytocides.

L'emploi de ces techniques vise globalement à promouvoir la régénération, de sorte que dans les conditions recherchées les jeunes conifères soient capables de se développer normalement sans intervention humaine.

La destruction de la végétation compétitrice (par des moyens mécaniques ou chimiques) ne se fait pas sur toutes les surfaces forestières coupées. En fait, cette destruction ne se

fait que dans le cas où la plantation Manuelle de jeunes arbres est nécessaire, ce qui, en 1996, correspondait à seulement 15% des surfaces en régénération. De plus, 25% des surfaces avec plantation n'ont pas subi de traitement; les 75% des surfaces plantées traitées correspondaient donc à 11% de l'ensemble de la superficie en régénération (75% de 15%). En règle générale, les plus grandes surfaces traitées avec des phytocides sont celle du Bas-Saint-Laurent (5 715 hectares en 1996, surtout en forêt publique) et de Québec (2 000 hectares, exclusivement en forêt privée).

L'application de phytocides peut se faire par voie aérienne, c'est-à-dire par pulvérisation d'un produit à l'aide de rampes portées par des avions ou des hélicoptères. On peut également appliquer le phytocide par voie terrestre à l'aide d'une machinerie lourde ou par des systèmes, motorisés ou non, portés par l'humain (pulvérisateur portatif). Dans le cas d'un épandage terrestre motorisé on doit aussi tenir compte des impacts environnementaux et sur la Santé des travailleurs causés par les gaz de combustion.

Superficies traitées

Au Québec, les superficies forestières traitées avec des phytocides sont passées de 3 500 hectares en 1984 à plus de 27 000 ha en 1993 (78% en forêt publique, le reste en forêt privée). Depuis 1993 toutefois, les superficies traitées sont constamment en régression, la prévision pour 1997 étant de 20 935 ha dont 14 460 ha en forêt publique (50% de la superficie traitée en 1993). Dans sa stratégie de protection des forêts adoptée en 1994, le gouvernement a d'ailleurs annoncé son intention d'abandonner l'emploi de phytocides en 2001 en mettant de l'avant tout un ensemble de techniques préventives protégeant et favorisant la régénération. Les propriétaires de forêts privés pourront cependant poursuivre l'emploi des phytocides après cette date s'ils le désirent car il ne s'agit pas d'un bannissement des herbicides en milieu forestier.

Nature et mode d'action du glyphosate

Actuellement, on n'utilise à peu près qu'un seul phytocide, soit le glyphosate (connu en milieu agricole sous le nom commercial de 'roundup' et de 'vision' en milieu forestier). Le glyphosate, développé dans les années 1960, est un phytocide non sélectif efficace contre les plantes herbacées, les broussailles et les arbres. Il inhibe la synthèse des acides aminés aromatiques essentiels au végétal, provoquant ainsi le dérèglement du métabolisme, puis la mort. C'est un produit non volatil que l'on retrouve temporairement dans l'air sous forme de gouttelettes lors de la pulvérisation. Les micro-organismes de l'environnement naturel le dégradent rapidement en acide aminométhylphosphorique (ampa) qui se décompose ensuite en phosphates et en CO_2 . Sa demi-vie est inférieure à deux mois et on ne le détecte plus après une période de 12 à 15 mois. On l'emploie à raison de 1,5 kg d'ingrédient actif par hectare; on a retrouvé des résidus moyens de 500 mg/g (poids humide) sur le feuillage et une contamination moyenne maximale de 33 fg/g (poids frais) dans un fruit comme la framboise dans les jours suivant l'épandage.

Effets chez l'humain

Chez l'humain on peut doser le glyphosate dans l'urine où sa concentration est directement proportionnelle à l'exposition. Tous les modes de contamination sont possibles, soit l'ingestion, l'inhalation et l'absorption cutanée. Selon les modèles proposés par le centre de toxicologie du Québec, une personne vivant près du site recevrait une dose journalière d'environ 0,0004 mg/kg. Dans le cas d'un chasseur-pêcheur fréquentant un secteur récemment traité, cette dose serait de 0,0006 mg/kg. Cette dose est toutefois inférieure à celle que la population adulte ingère par le biais de la consommation de céréales et de bière; dans ce cas on parle de 0,023 mg/kg. Selon l'épa, la dose journalière acceptable serait de l'ordre de 0,1 mg/kg. On n'a jamais décelé d'effets tératogènes, mutagènes ou cancérogènes attribuables à une exposition chronique au glyphosate.

Effets sur l'environnement

Selon l'ensemble des données et informations colligées par divers organismes, le glyphosate a peu d'effets notables sur l'environnement. Il n'affecte pas les conifères, dont on veut favoriser la croissance, puisqu'il est généralement épandu après la mi-août. À partir de cette période, les bourgeons des conifères entrent en dormance pour la période hivernale (c'est 'l'aoûtage') et, conséquemment, le glyphosate n'est pas métabolisé dans ces arbres. Les feuillus de petite taille continuent toutefois d'avoir un métabolisme actif, ce qui les rends vulnérables au glyphosate.

Après un épandage, on retrouve du glyphosate dans l'eau et le sol, mais en concentrations faibles. Le glyphosate est rapidement immobilisé sur les particules du sol où il est dégradé principalement par les micro-organismes naturellement présents. Les animaux et les oiseaux ne sont pas affectés par le glyphosate bien que la défoliation des feuillus puisse entraîner des modifications quant au broutage des herbivores. La situation est rétablie après quelques années quant les feuillus recommencent à proliférer. Notons qu'un seul épandage est effectué dans un secteur donné puisque les conifères sont par la suite capables de dominer naturellement la végétation concurrente.

Secteur: forêt**Activité: épandage de phytocides (glyphosate⁸) pour favoriser la régénération forestière⁹**

Agresseur/ Exposition	Nature de l'agresseur	Impact environnement	Zone d'influence	Mesures de contrôle	Normes ou recommandations
Sinistre technologique					
Émissions gazeuses ou atmosphériques	- glyphosate	- défoliation des feuillus - possibilité de légère modifica- tion chez popula- tions oiseaux nicheurs - pollution de l'air	- site et péri- mètre - site et péri- mètre - site et péri- mètre	- limiter dérive en tenant compte vitesse direction du vent, humidité	- glyphosate: aucune
	- gaz de combustion			- aucune	- gaz de combus.: *co: 0,3 ppm (1h), 0,13 ppm (8h) q-2, règ. qual. atmosph. *benzène: 30 mg/m ³ *formaldéhyde: 3 mg/m ³ (normes travail qc)
Émissions liquides ou dans l'eau	- glyphosate	contamination du milieu aquatique récepteur Cl ₅₀ : 1,3 mg/l (truite arc-en- ciel, esp. la + sensible)	- site et périmètre	- bande de protection: 60m épard. aérien; 30m. épand terrestre	- critères mef et Env. Canada pour eau brute: 0,28mg/l - 0,1 mg/kg/j (epa)
Émissions solides ou dans les sols	- glyphosate	- contamination du sol: principale voie de dégrada- tion par micro- organisme	- site (glypho- sate immobile dans le sol)	- aucune	- aucune
Nuisances	- bruit (moteurs)	- salubrité - salubrité	- site, péri- mètre et voisinage - site	- silencieux moteur	- l _{eq} : 50 db (jour)
	- vibrations			- filtres	
	- odeurs (essen- ce et phytocide)				
Impacts indirects ou autre exposition	- déversement phytocide	- contamination sol et cours d'eau	- site du déversement	- mesures pré- ventives, forma- tion	
	- conflit social	- valeur économique	- voisinage	- communication	
	- écrasement	- destruction,	- site écrase-	- récupération	

⁸ Le glyphosate est l'herbicide utilisé de manière presque exclusive par le Ministère des Ressources naturelles du Québec et les producteurs privés subventionnés par le gouvernement.

⁹ Cette grille est valable pour les arrosages effectués en forêt publique et pour ceux en forêt privée effectués selon les directives du Ministère des Ressources naturelles. Elle ne s'applique pas aux épandages effectués par Hydro-Québec, dans ses emprises hydro-électriques, ni à l'emploi du glyphosate (Roundup®) en milieu agricole.

	appareil utilisé pour épandage	contamination	ment et périm. immédiat	substances écoulées	
--	--------------------------------	---------------	-------------------------	---------------------	--

Agresseur/ Exposition	Effet sur la Santé	Population à risque	Probabilité de survenue	Indicateur biologique/ environnement (suivi)	Informations/ références
Sinistre technologique					
Émissions gazeuses ou atmosphériques	- glyphosate: aucun effet notable	- N.A..	- N.A..	- N.A..	BAPE (1997) Couture <i>et al</i> (1995) MRN (1995)
	- gaz combustion: co: ↑ carboxy-hémoglobinémie; formaldéhyde et No _x : irritations resp. benzène et HAP: cancers	- travailleurs, surtout ceux effectuant épandage au sol avec machine motorisée	- inconnue - inconnus - inconnue	- concentration co sanguin - symptômes, suivi médical - études épidémiologiques	
Émissions liquides ou dans l'eau	- glyphosate: aucun effet notable aux concentrations retrouvées dans l'environnement	- N.A..	- N.A..	- effectuer tests de toxicité avec poissons (déterminer CL ₅₀)	- idem à ci-haut + Dostie (1991) Extoxnet (voir référence internet)
Émissions solides ou dans les sols	- glyphosate: aucun effet	- N.A..	- N.A..	- N.A..	idem à case sur «émissions gazeuses» + Legris et couture (1992)
Nuisances	- qualité de vie	surtout travailleurs	- fréquent	- plaintes,	Rapport MRN (voir ci-haut)
	- qualité de vie	- travailleurs	- fréquent	- plaintes	
	- qualité de vie	- travailleurs et voisinage	- occasionnel à fréquent	- plaintes	
Impacts indirects ou autre exposition	- nausées et vomissements Noael: 175mg/kg/j	- travailleurs	- très rare	- suivi médical	
	- qualité de vie/stress	- voisinage, communauté	rare à occasionnel	plaintes/perception	

- blessures/décès	- pilote	- très rare	- sécurité publique
-------------------	----------	-------------	---------------------

Sources:

BAPE (1997) Programme de dégagement de la régénération forestière. Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, Gouvernement du Québec, 133p.

Couture, G., J. Legris et R. Langevin (1995) Évaluation des impacts du glyphosate utilisé dans le milieu forestier (annexe e de l'Étude comparative des modes de dégagement de la régénération forestière). Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, 187p.

Dostie, R. (1991) Dépôt du glyphosate à l'extérieur des aires traitées par voie terrestres en 1989. Ministère des Forêts, Gouvernement du Québec, 14p.

Legris, j., g. Couture (1992) résidus de glyphosate dans les fruits sauvages à la suite de pulvérisations terrestres en milieu forestier en 1989 et 1990. Ministère des Forêts, Gouvernement du Québec, 25p.

MRN (1994) une stratégie : aménager pour mieux protéger les forêts. Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, 195p.

MRN (1995) étude comparative des modes de dégagement de la régénération forestière, rapport principal, volume 2. Ministère des Ressources naturelles, Gouvernement du Québec, ___p.

Utilisation de l'insecticide *Bacillus thuringiensis* (B.t.)

L'insecticide bactérien *bacillus thuringiensis* (*bt*) est largement utilisé en foresterie au Québec pour lutter contre certains insectes ravageurs, notamment la tordeuse des bourgeons de l'épinette¹⁰; depuis 1987. C'est d'ailleurs le seul produit autorisé pour les traitements aériens contre la tordeuse. En outre, depuis le début des années 1990, plusieurs municipalités du Québec utilisent également le *bt* pour lutter contre divers insectes piqueurs (moustiques, mouches noires, etc.) qui s'avèrent de véritables nuisances.

La tordeuse des bourgeons de l'épinette : perspectives canadienne et québécoise

¹⁰ Précisons que, malgré le nom de l'insecte, le sapin baumier est le conifère le plus vulnérable.

La tordeuse des bourgeons de l'épinette, un lépidoptère, cause de graves dommages aux forêts conifériennes de l'ensemble du Canada, depuis le Yukon jusqu'à Terre-neuve. Ses infestations sont cycliques et reviennent en moyenne tous les 30 ans balayer le pays d'ouest en est. Elle s'attaque principalement au sapin baumier et à l'épinette blanche dont la mortalité respective fut de 65% et 20% lors de l'infestation des années 1940 et 1950 au Québec.

Dans l'Est canadien, la tordeuse constitue le parasite le plus nuisible. Intégré à l'écosystème depuis 10 000 ans, cet insecte a parfois contribué à créer de nouveaux peuplements en accélérant le déclin des forêts surannées. La situation a toutefois changé depuis que l'humain exploite commercialement la forêt. La première présence documentée de cet insecte remonte à 1704; une demi-douzaine d'autres infestations, pouvant durer jusqu'à 10 ans, se sont produites entre cette date et la fin du 19^{ème} siècle. Dans les années 1920, une importante épidémie est survenue dans l'Est du Canada, notamment au Nouveau-Brunswick où certaines compagnies furent acculées à la faillite.

La fréquence et la durée des infestations se sont accrues au cours du 20^e siècle. Au Québec, la dernière épidémie a débuté en 1968 en Outaouais pour occuper, en 1975, tout le territoire de la forêt coniférienne, les aires infestées se chiffrant à 35 millions d'hectares. Cette épidémie s'est terminée vers 1987 bien qu'au début des années 1990 des foyers résiduels d'infestations étaient encore notés en Gaspésie. Les pertes découlant de cette épidémie ont été évaluées à quelque 235 millions de m³ de bois.

Les insectes piqueurs

Mentionnons par ailleurs que les insectes piqueurs (surtout les moustiques et les mouches noires) représentent une source de nuisance pour les humains et, dans une moindre mesure, pour les animaux domestiques et sauvages. Le principal inconvénient est de rendre la vie désagréable au point de limiter les activités extérieures durant la période où ces insectes sont les plus actifs, soit de début juin jusqu'à la fin juillet. En conséquence, ces insectes peuvent constituer une nuisance économique pour les activités touristiques. Au Canada, les insectes piqueurs ne sont toutefois pas des vecteurs de maladies, telles les encéphalites, comme c'est le cas en milieu tropical ou dans certaines régions des États-Unis. En termes de santé publique, on parle d'une nuisance plutôt que d'un véritable problème.

Insecticides employés au Canada avant le *Bt*

Les premiers épandages aériens intensifs contre la tordeuse furent effectués dans les années 1950 au Nouveau-Brunswick ainsi que dans l'est québécois. Jusqu'en 1962, le DDT fut le seul pesticide employé. Après le bannissement du DDT, au début des années 1970, le fénitrothion (un organophosphoré), l'aminocarbe et le mexacarbate (deux carbamates) furent utilisés de 1974 à 1976. À compter de 1977, le mexacarbate a été abandonné et le *Bt* a été employé pour la première fois en 1978. Le scénario reste le même dans les années 1982 et 1983, si ce n'est que l'emploi du *Bt*s'intensifie. En 1987,

le bacillus thuringiensis devient le seul insecticide utilisé en foresterie au Québec pour lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. À partir de 1990, l'emploi du *Bt* sera aussi mis à l'essai pour lutter contre d'autres ravageurs forestiers, soit l'arpenteuse de la pruche, la tordeuse du pin gris et le diprion de swaine.

Information de base sur le *Bacillus thuringiensis*

Le *Bt* est une bactérie aérobie en forme de bâtonnet, omniprésente sur la planète et découverte au Japon au début du siècle; dans les années 1920, on reconnaît son pouvoir insecticide. Il y aurait 34 sous-espèces de *Bt* (sérotypes et variétés) et quelque 40 000 souches; la souche la plus employée au Canada est *B.t. var. Kurstaki (Btk)* que l'on utilise en milieu forestier par voie de pulvérisation aérienne. En ce qui concerne la lutte contre les insectes piqueurs en milieu urbain ou touristique, c'est la souche *B.t. var. Israelensis (bti)* que l'on utilise. Le produit est injecté dans l'eau, afin qu'il puisse s'attaquer aux larves de moustiques; il n'est pas pulvérisé par voie aérienne. Sur le marché canadien, il existe 17 formulations commerciales de *btk* destinées au contrôle des Lépidoptères; au Québec, c'est essentiellement cette variété que l'on utilise contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette, mais son emploi se répand maintenant en agriculture.

Mode d'action

Les formulations d'insecticides contiennent l'endospore du bacille ainsi qu'un corps parasporal, le cristal. Lorsque ce dernier se dissout dans le tractus digestif alcalin de certaines larves d'insectes, il libère diverses protéines appelées protoxines ou endotoxines-d (delta). Dans le tractus digestif des insectes, ces endotoxines-d sont transformées en toxines actives par des enzymes spécifiques qui déforment les cellules intestinales et provoquent une perforation épithéliale ainsi qu'un déséquilibre osmotique. Quelques minutes après l'ingestion des cristaux, les larves cessent de s'alimenter puis, au bout de quelques heures, elles meurent. Précisons que la dissolution du cristal doit se faire en milieu basique, soit à pH de 9 à 11. À noter également que les diverses toxines sont relativement sélectives et que leur spectre d'action est restreint à certains groupes d'insectes

Mobilité et persistance du *Bt* dans l'environnement

La dispersion des spores de *Bt* dans l'air est évidemment tributaire de la vitesse et de la direction du vent, du degré d'humidité ainsi que de la dimension des particules de l'insecticide lors de l'épandage. La concentration atmosphérique des spores de *Bt* diminue rapidement puisque, 2 heures après l'épandage, moins de 2% de la concentration totale est détectée. Dans les municipalités situées près des secteurs traités, la majorité des échantillons prélevés avaient des concentrations bactériennes

inférieures à 1 ufc/m³¹¹. on note cependant une persistance environnementale des spores, puisque plusieurs mois après l'épandage on peut encore en trouver dans l'air ambiant.

Sur les végétaux, les spores de *Btk* peuvent persister jusqu'à un an, bien qu'ils ne soient pas nécessairement viables; des spores viables ont été trouvés un mois après un épandage. La persistance de spores viables sur les végétaux peut s'expliquer par la protection contre le rayonnement ultraviolet solaire. Les spores qui sont dans les crevasses et les plis des feuilles, des cônes ou de l'écorce rugueuse des arbres ne sont pas exposés aux rayons UV, ce qui favorise leur viabilité.

La persistance environnementale du *Btk* dans l'eau est similaire à sa persistance dans l'air, soit une rapide diminution de la concentration au cours des premières heures et une présence à moyen terme (quelques mois à un an) à des concentrations très faibles (moins de 1% du maximum enregistré dans les premières heures). La présence à moyen terme du *Bt* dans l'eau s'explique notamment par le lessivage du sol via le ruissellement des eaux de pluie et la fonte de la neige. Le *Bt* se retrouve cependant surtout dans les sédiments aquatiques après un séjour de quelques semaines dans l'eau.

C'est dans le sol que le *Btk* persiste le plus longtemps, pouvant demeurer jusqu'à sept ans. Une étude a montré que la dégradation des spores et des cristaux est nulle ou faible après plus de 8 semaines dans les sols forestiers et agricoles alors qu'une autre a permis de constater que la concentration du micro-organisme se maintient un an après l'arrosage. Il faut cependant noter que la percolation verticale du *Bt* dans le sol est très faible, 90 à 99% des spores demeurant dans les cinq premiers centimètres; selon ces données, il y a donc peu de chances que le *Btk* atteigne la nappe phréatique. De plus, des études ont démontré que la germination des spores dans un sol acide est peu probable; or, ce sont de tels sols que l'on retrouve sous la forêt coniférienne boréale, celle qui fait habituellement l'objet d'arrosages.

Effets du *Bt* sur les animaux et les humains

L'exposition expérimentale de mammifères au *Bt* par voies orale, respiratoire, sous-cutanée ou oculaire n'a pas provoqué d'effet adverse chez les animaux exposés. On a cependant constaté la présence de *Btk* dans l'ensemble de la flore intestinale des travailleurs ainsi que chez des écoliers trois mois après la période d'arrosage. Il semble que la transmission du bacille pourrait se faire de personne à personne ou par des expositions indirectes par les vêtements ou l'air.

Dans certains cas, on mentionne que le bacille pourrait agir à titre d'opportuniste et contribuer à l'aggravation d'une maladie ou agir comme co-pathogène ou agent

¹¹ Ufc, unité formatrice de colonie: en principe chaque spore viable et chaque cellule végétative bactérienne qui est déposée sur une gélose nutritive (en plat de Pétri) devrait former une colonie visible à l'œil après quelques heures ou quelques jours. Dans le cas présent, cela signifie qu'il y a une bactérie par mètre cube d'air.

synergique. On possède cependant peu d'information à ce sujet et, dans les quelques cas documentés, le rôle du *Bt* serait mineur.

On sait également que le *Bt* peut persister dans les systèmes sanguin et digestif ainsi que dans divers organes comme les yeux, le nez, les poumons, le foie, la rate, le rein et le cerveau. Cette persistance peut être de quelques heures à plusieurs mois, selon l'organe atteint et la concentration initiale de la bactérie. On a constaté la formation d'anticorps de type IgM, puis IgG plus tard. Ces réactions immunologiques sont surtout engendrées par la présence de cellules végétatives, plutôt que celle des spores ou des cristaux. Ces anticorps ne persistent que quelques mois et aucun problème de Santé n'a été noté chez les travailleurs et les personnes chez qui ces anticorps se sont développés.

Une vaste étude épidémiologique a été effectuée en Oregon à la fin des années 1980 dans une région habitée par 120 000 personnes où le Btk fut utilisé pour lutter contre la spongieuse asiatique (un papillon). Elle a mis en évidence 3 cas où le rôle du bacille n'a pas été parfaitement élucidé. Les trois personnes en question souffraient toutefois de problèmes de santé bien avant les pulvérisations, étant immunosupprimées. Dans ces trois cas, il n'a pas été possible d'attribuer les problèmes de nature infectieuse au *Btk*, ou d'exclure avec certitude le rôle étiologique du bacille.

Vers le milieu des années 1990, on a mis en évidence la présence d'une entérotoxine diarrhéique produite par certaines souches de *Bacillus thuringiensis*. Cette toxine serait en mesure de provoquer un empoisonnement alimentaire. Les auteurs rapportent également avoir identifié une souche de *B. thuringiensis*, variété *kurstaki*, dans plusieurs aliments d'origine végétale, ce qui suggèrerait que ces micro-organismes puissent être ingérés. Par ailleurs, dans un cas d'empoisonnement alimentaire survenu dans une résidence pour personnes âgées au Canada, on a rapporté la présence de *B. thuringiensis* chez quelques malades; il a toutefois été impossible de préciser le rôle étiologique du *Bt*. Mentionnons également qu'en Italie on a rapporté la présence de *B. thuringiensis* dans des plaies causées par de graves brûlures. Il importe de noter que dans tous ces cas, une caractérisation poussée a été nécessaire afin de différencier *B. thuringiensis* de *B. cereus*. Les deux micro-organismes sont en effet génétiquement proches et, compte tenu de l'implication bien connue de *B. cereus* dans plusieurs infections, notamment les gastro-entérites, on comprend l'importance de bien les différencier. Les études n'ont cependant pas permis de clarifier le rôle étiologique précis de *B. thuringiensis*.

Précisons enfin que des tests de sensibilisation cutanée n'ont pas permis de mettre en évidence une réaction allergique sur une peau intacte et qu'aucun cas de mutagénicité lié à la présence de *Bt* n'a été rapporté.

En conclusion, on peut raisonnablement croire que *B. thuringiensis* ne représente pas un danger pour la majorité des personnes en bonne santé. On ne doit toutefois pas rejeter des cas possibles d'infection opportuniste chez des personnes immunosupprimées ou

atteintes de graves infections. Par ailleurs, il faut se rappeler que l'emploi du *Bt* pour lutter contre les insectes piqueurs n'implique pas la même souche, *Bti* au lieu de *Btk*, et que dans ce cas on ne procède pas par voie de pulvérisation aérienne.

Effets des adjuvants ajoutés aux préparations de *Bt*

Les formulations commerciales de *Bt* contiennent essentiellement les cristaux de la toxine, des spores et des débris cellulaires auxquels on ajoute diverses substances. Les plus importantes de ces substances sont l'eau ou des huiles qui servent à suspendre les spores et les toxines. On ajoute à cette suspension des adjuvants destinés à accroître l'efficacité de l'insecticide. Ces adjuvants sont des diluants (eau, huile, poudre d'argile), des agents émulsifiants, épaississants, humidifiants et anti-moussants, des substances favorisant la consommation des cristaux par les insectes (comme du sucre) ainsi que des produits stabilisateurs (agents anti-oxydants, anti-bactériens, anti-évaporants). Il faut préciser que la nature et la composition chimique des adjuvants sont protégées par le secret industriel et qu'il est par conséquent impossible de connaître la toxicité potentielle réelle des formulations commerciales de *Bt*.

On possède toutefois suffisamment d'information pour affirmer que certains de ces adjuvants ont des propriétés légèrement irritantes, comme le confirment les mises en garde apparaissant sur les fiches signalétiques des formulations commerciales. Le système respiratoire et les yeux seraient les organes les plus sensibles aux adjuvants. Ainsi, des irritations oculaires et une congestion conjonctivale notées chez des lapins résulteraient de la nature abrasive des adjuvants. Un ulcère cornéen diagnostiqué chez un homme ayant reçu une formulation insecticide dans l'œil serait également le résultat de l'effet des adjuvants. Finalement, la fréquence plus grande d'irritations des yeux, du nez et de la gorge ainsi que des gerçures aux lèvres et des assèchements cutanés chez des travailleurs exposés au *btk*, comparativement à un groupe-témoin, pourrait être une conséquence de la présence de produits autres que les bactéries. Précisons cependant que ces symptômes irritatifs étaient observés surtout chez les travailleurs ayant des antécédents allergiques (asthme, eczéma, allergies saisonnières).

Secteur: forêt**Activité: épandage de *Bt (Bacillus thuringiensis)* pour lutter contre certains insectes ravageurs en forêt et les insectes piqueurs en milieu urbain**

Agresseur/ Exposition	Nature de l'agresseur	Impact environnement	Zone d'influence	Mesures de contrôle	Normes ou recommandations
Sinistre technologique					
Émissions gazeuses ou atmosphériques	- spores et cris- taux de Bt	- dépôt sur végé- tation; aucun effet toxique connu	- site, périmè- tre et voisina- ge	- limiter dérive aérienne lors d'épandage	- aucune norme
	- adjuvants divers	- pollution de l'air	- site, périmè- tre et voisinage	- limiter dérive aérienne lors d'épandage	- les préparations commerciales de Bt soumises au processus fédé- ral d'homologa- tion des pestici- des
Émissions liquides ou dans l'eau	- spores et cris- taux de Bt	- présence et persistance dans eau de surface	- site, périmè- tre et voisina- ge	- éviter passage au dessus cours et plans d'eau	arrêt d'arrosage vis-à-vis la rive (coupure en bor- dure), pas d'au- tre norme
	- adjuvants divers	- inconnu	- inconnu	- idem	
Émissions solides ou dans les sols	- spores et cris- taux de bt	- présence et persistance dans le sol	- site et péri- mètre	- aucune possible	- aucune
	- adjuvants divers	- inconnu	- inconnu	- aucune possible	- aucune
Nuisances					
Impacts indirects ou autre exposition	- déversement de solution insecti- cide concentrée	- contamination sol et cours d'eau	- site du déversement	- mesures préven- tives, formation des travailleurs	
	- écrasement de l'appareil utilisé pour épandage	- destruction, contamination	- site d'écrase- ment et péri- mètre immé- diat	- récupération des substances répandues	
	- conflit social	- valeur économique	- voisinage	- communication	

Agresseur/ Exposition	Effets sur la santé	Population à risque	Probabilité de survenue	Indicateur biologique/ environnement (suivi)	Informations/ références
Sinistre technologique					
Émissions gazeuses ou atmosphériques	- probablement aucun, infection op- portuniste chez immunosupprimés	- immunosupprimés (?)	- inconnue ou très rare	- détermination des spores viables (cfu) ⁴ ; études épidémiolo- giques	Lessard et Bolduc (1996) Damgaard <i>et al</i> (1995 1996, 1997) Green <i>et al</i> (1990)
	- possible irritations des yeux, peau, et voies respiratoires	- travailleurs exposés	- rare	- inconnu (adjuvants protégés par le secret industriel)	
Émissions liquides ou dans l'eau	- probablement aucun, infection op- portuniste chez immunosupprimés	- immunosupprimés (?)	- inconnue ou très rare	- détermination des spores viables (cfu) dans eau (surface et potable)	Lessard et Bolduc (1996) Damgaard <i>et al</i> (1995 1996, 1997)
	- inconnu	- inconnu	- inconnu		
Émissions solides ou dans les sols	- inconnu	- inconnu	- inconnu	- N.A..	Lessard et Bolduc (1996)
	- aucun	- N.A..	- N.A..	N.A..	
Nuisances					
Impacts indirects ou autre exposition	- irritations dus aux adjuvants	- travailleurs	- rare	- inconnu (adjuvants protégés par le secret industriel)	Lessard et Bolduc (1996) - q-2, section IV, étude d'impact si épandage > 600 ha en forêt
	- essures/ décès	- pilote avion/héli- coptère	- très rare	- sécurité publique, Transport Canada	
	- stress, inquiétude	- voisinage, communauté	- rare à occasionnel	- plaintes/études de perception	

Sources :

Damgaard, P.H. (1995) Diarrhoeal Enterotoxin Production By Strains Of *Bacillus Thuringiensis* Isolated From Commercial *Bacillus Thuringiensis*-Based Insecticides. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 12: 245-250.

Damgaard, P.H., P.E. Granum, J. Bresciani, M.V. Torregrossa, J. Eilenberg et L. Valentino (1997) Characterization of *Bacillus Thuringiensis* Isolated From Infections In Burn Wounds. *FEMS Immunology and Medical Microbiology*, 18: 47-53.

Damgaard, P.H., H.D. Larsen, B.N. Hansen, J. Bresciani et K. Jorgensen (1996) Enterotoxin-Producing Strains Of *Bacillus Thuringiensis* Isolated From Food. *Letters in applied microbiology*, 23: 146-150.

Dorais, L., M. Auger, M. Pelletier, M. Chabot, C. Bordeleau et J. Cabana (1991) Pulvérisations aériennes d'insecticides réalisées au Québec de 1974 à 1987 pour lutter contre la tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ministère des Forêts (maintenant Ministère des Ressources naturelles), Gouvernement du Québec, document non paginé.

Green, M., M. Hehmann, R. Sokolow, L.R. Foster, R. Bryant et M. Skeels (1990) Public Health Implications Of The Microbial Pesticide *Bacillus Thuringiensis*; An Epidemiological Study, Oregon, 1985-86. *American Journal of Public Health*, 80: 848-852.

Jackson, S.G., R.B. Goodbrand, R. Ahmed et S. Kasatiya (1995) *Bacillus Cereus* And *Bacillus Thuringiensis* Isolated In A Gastroenteritis Outbreak Investigation. *Letters in Applied Microbiology*, 21: 103-105.

Lessard, S. et D.G. Bolduc (1996) L'insecticide *Bacillus thuringiensis* et la santé publique. Comité de santé environnementale du Québec, centre de santé publique du Québec, Beauport, 70p.

Mackay, D. (1987) Un patrimoine en péril - La crise des forêts canadiennes. Les publications du Québec, Gouvernement du Québec, 302p.

Riendeau, R. (1990) Arrosages aériens : pour les conifères, contre les feuillus. *Forêt Conservation*, 57(1) : 20-24.

SOPFIM (1992) Programme quinquennal (1993-1997) de pulvérisations aériennes d'insecticides pour lutter contre certains insectes forestiers. Tome 1, tordeuse des bourgeons de l'épinette, résumé. Société de protection des forêts contre les insectes et maladies (Gouvernement du Québec), SNC-Lavallin, dossier no. 25255, pagination multiple.

Van Frankenhuisen, K. (1990) Development And Current Status Of *Bacillus Thuringiensis* For Control Of Defoliating Forest Insects. The Forestry Chronicle, octobre, 498-507.

Industrie minière

Notions de base sur l'exploitation minière en général

L'industrie minière comporte plusieurs étapes qui sont l'exploration, l'exploitation et le traitement des minerais¹². Les substances concernées par l'activité minière peuvent être essentiellement séparées en deux groupes : les métaux, qui comprennent notamment l'or, l'argent, le plomb, le cuivre, le nickel, le zinc, le molybdène et le fer, ainsi que les non-métaux qui comprennent l'amiante, le gypse, la potasse, le sel, le titane, le soufre, la silice et la tourbe. Il faut par ailleurs souligner que les données statistiques incluent habituellement un troisième groupe. Celui des matériaux de construction ou 'carrières', lequel comprend le granit, le calcaire, le marbre, le grès l'ardoise, le sable, le gravier, la chaux et le ciment.

L'exploitation d'un gisement minier, qui consiste à extraire du sous-sol le minerai et les constituants de la gangue, peut se faire dans des mines à ciel ouvert (exploitation de surface) ou souterraines. Dans le cas d'une exploitation de surface, le minerai est prélevé à mesure que la fosse est élargie et creusée. Au Québec, les gisements à ciel ouvert les plus spectaculaires sont les mines d'amiante de la région de Thetford Mines et de Black Lake, certaines ayant deux kilomètres de diamètre. Dans une exploitation souterraine, le minerai est extrait par l'intermédiaire de puits verticaux et de galeries horizontales qui suivent les 'veines' ou les filons contenant les substances recherchées. Des métaux comme le cuivre, le zinc et l'or sont généralement extraits de mines souterraines.

Le minerai extrait du sous-sol doit subir un premier traitement sur place afin d'éliminer la plus grande partie de la gangue. Ces activités de traitement, désignées sous le vocable de minéralurgie, sont habituellement au nombre de trois, soit la préparation, la concentration et le conditionnement. Ces étapes sont, à divers degrés, génératrices de pollution, tel que précisé plus loin.

La préparation du minerai se fait par concassage et broyage afin de procéder à un classement granulométrique. La concentration vise à séparer les grains de minerais (métaux ou non métaux) de leur gangue. On utilise des méthodes gravimétriques (basées

¹² Un minerai est une roche ayant une concentration élevée de minéraux ou de métaux utiles qui justifient une exploitation commerciale. Un minerai contient également des substances sans valeur que l'on appelle la gangue. Il existe quelque 3 000 types de minerai sur la planète et, à titre d'exemple, on peut mentionner la calcopyrite (CuFeS_2) et la malachite ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) qui contiennent du cuivre comme métal utile.