

**Agence
de développement
de réseaux locaux
de services de santé
et de services sociaux**



**CONTAMINATION DES SOLS AUX DIOXINES ET AUX
FURANNES AUTOUR DE L'USINE DE *RÉCUPÈRE SOL*
À SAINT-AMBROISE ET PROTECTION DE LA
SANTÉ PUBLIQUE**

Déposé au ministère de l'Environnement du Québec

Service de santé environnementale

Direction de santé publique

**Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et
de services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean**

29 octobre 2004

TABLE DES MATIÈRES

Présentation.....	4
Mise en situation.....	5
Augmentation subite des concentrations en dioxines et furannes dans la zone d'influence de Récupère Sol	7
Identification de la source et de la nature de la contamination.....	8
Toxicité des dioxines et furannes.....	9
Le risque toxicologique et l'exposition aux dioxines et furannes	11
Critères de qualité des sols.....	12
Valeur guide pour l'air ambiant	13
Lignes directrices pour la protection de la santé publique.....	14
Note sur la méthode de calcul de la toxicité du mélange de dioxines et furannes.....	14
Valeurs du bruit de fond local pour les dioxines et furannes.....	15
Délimitation de la zone de contamination en milieu boisé.....	16
Exposition des populations de Saint-Ambroise et de Shipshaw.....	17
Évolution de la contamination des sols en présence de la source.....	18
Persistance des dioxines et furannes dans les sols contaminés.....	18
Bioaccumulation des dioxines et furannes dans les chaînes alimentaires	19
Conclusion	19
Références.....	20

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Tableau 1. – Résultats d'analyse des dioxines et des furannes (PCDD/PCDF) dans des sols boisés à Saint-Ambroise et les environs.	22
Tableau 2. – Facteurs d'équivalence de la toxicité (FÉT) pour les dioxines et furannes.	23
Tableau 3. – Unités de mesure.	23
Figure 1. –Variation logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée à l'ouest de la source	24
Figure 2. –Variation logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée au sud de la source	25
Figure 3. – Variation logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée au nord et au nord-est de la source	26
Figure 4. – Comparaison des distributions de fréquence des groupes homologues de dioxines et de furannes mesurés dans des sols boisés pour les trois stations situées en périphérie des zones habitées (en gris), celles situées à 250 et 400 mètres à l'ouest et à l'est de la source (en noir) et la station témoin de référence (en ligne brisée rouge).	27
Figure 5. – Projection logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée dans l'axe des vents dominants à 400 mètres à l'ouest et à l'est de la source	28
Figure 6. – Évolution théorique, en l'absence d'apports additionnels, de la charge toxique des 2348-P5CDF et 12378-P5CDF dans la partie superficielle des sols à 250 et à 400 mètres de la source dans l'axe des vents	29
Figure 7. – Délimitation de la zone de contamination d'après les teneurs en dioxines et furannes dans les sols boisés significativement supérieures à dix fois le bruit de fond (> 4 pg ÉqT/g) selon les intervalles de confiance de la moyenne à 99 % dans l'axe des vents dominants et à 95 % dans l'axe nord-sud	31

PRÉSENTATION

Depuis l'implantation controversée, en 1997, de l'usine de Récupère Sol inc. à Saint-Ambroise, la Direction de santé publique du Saguenay–Lac-Saint-Jean a fait le suivi de cette nouvelle source d'émission de dioxines et furannes dans l'environnement afin de prévenir que les populations locales de Saint-Ambroise et de Shipshaw soient significativement exposées à ces polluants hautement toxiques, persistants et bioaccumulables. Jusqu'à la fin de l'année 2002, les résultats d'une surveillance environnementale, initiée en automne 1999 par la compagnie, suggéraient un niveau relativement stable de la contamination des sols en dioxines et furannes dans la zone d'influence de l'usine de Récupère Sol. Or, une augmentation subite et significative des teneurs en dioxines et furannes aux mêmes stations d'échantillonnage de sols, relevée en novembre 2003, confirmée au printemps et en été 2004, puis attribuée sans équivoque aux opérations de Récupère Sol après enquête, change la perspective sanitaire et commande la mise en place et l'application de nouvelles mesures de gestion environnementale pour assurer la protection de la santé publique.

Ce rapport examine les résultats de l'enquête réalisée par le Centre de contrôle environnemental du Québec pour apprécier la pollution par les dioxines et furannes au voisinage d'une source émettrice dans une approche de protection de la santé publique. Cet état de situation expose les constats et préoccupations de santé publique dans le but éventuel d'évaluer et de diminuer l'exposition chronique des groupes de population concernée, dont les travailleurs à l'emploi de l'entreprise, à une source d'émissions non négligeables de dioxines et furannes dans l'environnement.

La Direction de santé publique du Saguenay–Lac-Saint-Jean a bénéficié de l'expertise des professionnels du Centre de contrôle environnemental du Québec, du Centre québécois d'inspection des aliments et de santé animale et de l'Institut national de santé publique pour la rédaction de cet état de situation.

Mise en situation

L'usine de Récupère Sol inc. (RSI), située à Saint-Ambroise, propriété de Bennett Environmental inc., traite annuellement de 30 000 à 66 400 tonnes des sols contaminés aux hydrocarbures, aux PCP, aux BPC et aux dioxines et furannes, selon les limitations de leurs *Certificats d'autorisation* (CA) émis par le ministère de l'Environnement du Québec¹. Selon les chiffres fournis par la compagnie, le nombre de jours de production varie annuellement : les nombres oscillaient entre 71 et 207 jours de 1998 à 2001, pour se régulariser à 260 ± 3 jours de production annuelle en 2002 et 2003.

Après un premier CA émis en avril 1997², avant la mise en opération de l'usine, la nature et les concentrations permises en organochlorés ont été modifiées et augmentées en octobre 1997³. Depuis octobre 2001, une modification au CA⁴ permet d'augmenter le débit d'alimentation à 12,5 tonnes par heure (au lieu de 10 t/h) tout en maintenant les quantités maximales permises pour les BPC et autres organochlorés; le taux moyen de production de l'entreprise s'est élevé en moyenne d'une tonne de sols contaminés par heure, passant de 9,55 t/h en 2002 à 10,6 t/h en 2003. Le contenu en composés organochlorés des sols contaminés à traiter varie grandement selon les contrats octroyés; par exemple, au cours de la dernière année, la teneur en BPC pouvait atteindre 3000 µg/g (ppm)⁵, et même 83 668 pg/g (ppt) pour les dioxines et furannes⁶, exprimés en équivalence toxique à la 2378-T4CDD (ÉqT ou I-TEQ).

¹ Le Certificat d'autorisation (CA) du ministère de l'Environnement du Québec fixe la limite de traitement à 100 000 tonnes par an.

² Le 15 avril 1997, approbation par le ministère de l'Environnement et de la Faune (MEF) pour traiter des sols et de l'eau contaminés aux hydrocarbures ainsi que des sols chlorés jusqu'à des concentrations de 450 ppm (ou mg/kg) pour le pentachlorophénol (PCP), de 18 ppm pour le tétrachlorophénol (TCP), et de 0,0022 ppm pour les dioxines et furannes (PCDD-PCDF).

³ Le 27 octobre 1997, approbation par le MEF pour des sols contaminés aux BPC : traitement maximal de 10 tonnes par heure de sols contenant 1337 ppm de BPC ou contenant un maximum de 1500 ppm de produits organochlorés, incluant les limitations de ceux prévus au CA précédent [jusqu'à l'automne 2001, l'opération normale était d'environ 7,5 tonnes à l'heure; la concentration pourrait donc être de 1780 ppm, et même plus si le débit d'alimentation est davantage réduit].

⁴ En octobre 2001, une modification au CA pour le traitement de sols contaminés aux BPC permet d'augmenter le débit d'alimentation à 12,5 tonnes par heure (au lieu de 10 t/h), sans modification des quantités maximales permises pour les BPC et autres organochlorés.

⁵ Une teneur en BPC de 4058 ppm a déjà été rapportée pour un contrat, en novembre 1999. Les teneurs en BPC dans les sols traités (extrants) sont systématiquement inférieures au seuil de détection de la méthode analytique.

⁶ Selon une compilation provisoire de données transmises au ministère de l'Environnement, la teneur moyenne en dioxines et furannes des sols contaminés échantillonnés à l'alimentation (intrants) en 1999 et 2000

Un suivi environnemental a été initié par l'entreprise en 1999 – *le suivi périurbain* – qui avait pour objectif de mesurer et de suivre l'évolution des retombées atmosphériques dans un rayon de deux kilomètres autour de la cheminée de l'usine de RSI. L'Agence (sous la dénomination de *Régie régionale de la santé et des services sociaux du Saguenay–Lac-Saint-Jean* jusqu'en février 2004) participe avec la Direction régionale du MENV à une table d'experts animée par RSI dans le cadre de son *Plan de suivi environnemental* révisé en juin 2002 afin de comparer les résultats avec le bruit de fond ou les conditions locales prévalant avant la mise en service de l'usine de RSI.

Le 28 janvier 1998, le Directeur de santé publique avait émis un Avis de santé publique en raison des risques potentiels pour la santé des populations exposées que pouvait représenter une nouvelle source d'émission dans l'environnement de substances cancérigènes, persistantes et bioaccumulables, tels les dioxines et les furannes susceptibles de se former dans le procédé de traitement thermique de sols contaminés aux organochlorés. L'implantation de l'usine ne rencontrait alors pas les conditions garantissant la santé et la sécurité de la population locale. En avril 2000, l'Institut national de santé publique transmettait son évaluation sommaire du risque des émissions à la cheminée de l'usine de RSI sous réserve que les essais de brûlage ne pouvaient être représentatifs des opérations normales et que les impacts de certaines procédures d'opération sur les émissions de contaminants, des émissions fugitives et de gestion environnementale des sols contaminés et traités n'étaient pas considérés dans cette évaluation sommaire. Après deux années d'opération de l'usine, la Régie relevait déjà en septembre 2000 une augmentation des teneurs en dioxines et furannes dans les sols dans un rayon d'un kilomètre autour de la cheminée de RSI. Dans son dernier rapport, faisant état de la situation après cinq années d'opération de l'usine – les premières mesures du bruit de fond dans les zones témoin en novembre 2002 validant les résultats de l'an zéro – la Régie maintenait en janvier 2004 sa conclusion que les niveaux de dioxines et furannes mesurés dans les sols boisés et tourbeux à l'intérieur du rayon d'un kilomètre étaient supérieurs au bruit de fond, mais que les teneurs étaient

avoisinait 1000 ppt en équivalence toxique, avec une mesure maximale de 8300 ppt. En 2001, une teneur de 1 100 000 ppt a été exceptionnellement rapportée au Ministère. Pour cette même période, la teneur en dioxines et furannes dans les sols traités (extrants à la sortie de la chambre de combustion primaire) était en moyenne de 6,5 ppt, avec un maximum mesuré de 68 ppt, en équivalence toxique. Les dioxines et furannes sont obligatoirement échantillonnés à tous les cinq jours d'opération.

demeurées relativement stables et à un niveau tolérable selon les critères en vigueur pour la protection de la santé publique.

Les résultats du suivi périurbain de novembre 2003 ont révélé une augmentation subite et marquée des teneurs en dioxines et furannes dans les stations à 400 mètres dans l'axe des vents dominants comparativement aux valeurs mesurées l'année précédente, lesquelles ont passé de 0,72 à 19,0 pg ÉqT/g vers l'est, et de 3,5 à 29,0 pg ÉqT/g vers l'ouest. L'ampleur de cette augmentation à ces mêmes stations fut confirmée par un nouvel échantillonnage réalisé en mai 2004, révélant des teneurs encore plus élevées six mois plus tard, avec respectivement 31,2 et 44,9 pg ÉqT/g aux mêmes stations. Après avoir pris connaissance de ces résultats, et parce que le critère d'usage de 15 pg ÉqT/g de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés était dépassé, le ministère de l'Environnement a mandaté le Service des enquêtes du Centre de contrôle environnemental du Québec (CCEQ) d'identifier la provenance et les activités susceptibles d'avoir causé l'augmentation des teneurs en dioxines et de furannes dans ces sols.

Le présent document répond à la demande du ministère de l'Environnement d'examiner le risque à la santé que peut représenter les niveaux de contamination des sols aux dioxines et furannes relevés lors de son enquête.

Augmentation subite des concentrations en dioxines et furannes dans la zone d'influence de Récupère Sol

Dans le cadre de la campagne d'échantillonnage de novembre 2003, prévue au suivi périurbain, les certificats d'analyses des dioxines et furannes produits par PSC Services Analytiques ont été émis le 19 janvier 2004 et les certificats d'analyse concernant les quatre duplicatas confiés au Laboratoire des pollutions industrielles du Centre d'expertise en analyse environnementale ont été émis le 10 février 2004 et reçus les 16 et 17 février à la Direction régionale du Saguenay–Lac-Saint-Jean du ministère de l'Environnement. Le premier signalement de ces résultats a été transmis trois mois plus tard à l'Agence par la Direction régionale, les 19 et 25 mai 2004. Le 10 mai 2004, une campagne d'échantillonnage dont le but était de confirmer les teneurs élevées en dioxines et furannes constatées dans la zone d'influence de RSI a été réalisée par la Direction régionale du MENV. Les certificats

d'analyses de ce contrôle ont été émis le 2 juin 2004, reçus à la Direction régionale du MENV le 8 juin 2004 et transmis à l'Agence, les 8 et 17 juin 2004. Un mandat d'enquête a parallèlement été donné au Centre de contrôle environnemental du Québec par le Ministre de l'environnement le 4 juin 2004. L'Agence a été invitée à une première rencontre, à ce propos, avec la compagnie RSI le 15 juin 2004, convoquée par la Direction régionale du MENV. Le 18 août 2004, la compagnie RSI a transmis à l'Agence le rapport préliminaire de leur consultant (Techmat inc.) daté du 23 juillet 2004.

Suite à l'information concernant les interventions du Service des enquêtes du Centre de contrôle environnemental du Québec, l'Agence a demandé que soit réalisée une campagne d'échantillonnage de sols en marge des populations résidentes qui a été menée les 6 et 7 juillet 2004. L'ensemble des résultats de l'enquête a été présenté à l'Agence le 2 septembre 2004 et les certificats d'analyses des dioxines et furannes transmis le 9 septembre pour l'appréciation des risques à la santé.

Identification de la source et de la nature de la contamination

D'après sa campagne d'échantillonnage des sols et de l'air ambiant réalisée en juin, juillet et août 2004, le Centre de contrôle environnemental du Québec identifie clairement l'usine de Récupère Sol comme étant la source de la contamination en dioxines et furannes détectée au printemps dernier dans les sols avoisinants l'entreprise. L'analyse des BPC dans ces mêmes échantillons arrive à la même conclusion. L'usine Éco-Bois⁷ a été exclue et aucune autre entreprise à proximité du secteur affecté pourrait contribuer à cette contamination selon les experts du ministère responsable.

À partir des campagnes d'échantillonnages, seules les teneurs en dioxines et furannes dans les sols justifient un examen de la situation sanitaire. Les métaux lourds n'ont pas été retenus pour l'analyse du risque, sur la base des résultats de la campagne d'échantillonnage de novembre 2003 dans le cadre du suivi périurbain; les teneurs en métaux lourds avoisinaient les teneurs de fond établies par la province géologique de Grenville, correspondant au « critère A » de la Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés.

⁷ L'entreprise Éco-Bois, usine de traitement thermique du bois par le procédé *Perdure*, n'est actuellement plus en opération, ayant été incendiée le 14 août 2004.

Toxicité des dioxines et furannes

Les dioxines et furannes sont les composés organochlorés les plus toxiques connus, les plus préoccupants sur le plan de la protection de la santé des populations et parmi les plus inquiétants dans l'opinion publique.

Les polychloro-dibenzodioxines [PCDD], communément appelées *dioxines*, et les polychloro-dibenzofurannes [PCDF], communément appelés *furannes*, représentent deux familles voisines comprenant respectivement 75 et 135 molécules différentes. Ces substances chimiques se forment accessoirement lors de la combustion incomplète de produits organochlorés, comme des pesticides, des agents de préservation du bois (polychlorophénols) et des BPC. Les plus persistantes et les plus toxiques des molécules de dioxines et de furannes sont celles au nombre de 17 qui ont les substitutions chlorées aux positions 2, 3, 7 et 8 pour les groupes d'isomères comprenant quatre à huit atomes de chlore. Le potentiel cancérigène d'un mélange de dioxines et de furannes est exprimée par le total en équivalence toxique (ÉqT ou I-TEQ), calculé selon une convention internationale attribuant un facteur d'équivalence toxique à la 2378-T4CDD à chacun des 17 congénères de dioxines et furannes analysés (tableau 2).

Les effets aigus sur la santé humaine sont généralement observés pour des expositions aux dioxines et furannes beaucoup plus importantes que celles présumées à Saint-Ambroise et Shipshaw. Les effets chroniques non-cancérogènes et les effets cancérogènes sont donc ici considérés, dont en voici un aperçu. Pour les premiers, des signes et symptômes d'atteintes neurologiques périphériques et du système nerveux central ont été observés dans des études épidémiologiques. Des effets de perturbation endocrinienne ont été observés dans des cohortes de vétérans de la guerre du Vietnam. Cependant, ces types d'études rapportent des effets contradictoires. Chez l'animal, toutefois, tous ces effets ont été observés. Pour les effets cancérigènes chez l'humain, on rapporte des augmentations de cancer pour tous les sites combinés. Les associations pour un type particulier de cancer sont moins constantes; les études chez les animaux sont plus évidentes de façon générale. L'IARC (1997) a classé la 2378-T4CDD comme cancérigène pour l'humain à partir d'évidences limitées chez l'humain et d'évidences suffisantes chez les animaux; l'U.S.EPA (1997) a classé la 2378-T4CDD comme un cancérigène probable chez l'humain.

Pour ces produits reconnus comme des promoteurs de cancers, le seuil des effets toxiques serait extrêmement bas. Selon Carrier (1991), la dose virtuellement sûre, c'est-à-dire la dose qui permettrait de ne pas induire plus d'un cancer par million de personnes (DVS), serait de 0,175 picogramme en équivalence toxique par kilogramme de poids corporel par jour (ÉqT/kg p.c./jour) sur une période 70 ans. Dans sa dernière révision, l'U.S.EPA (2000) a proposé que la dose associée à un risque d'excès de cancers de un sur un million soit plutôt de 0,001 pg ÉqT/kg p.c./jour. Or, de nos jours, la population en général est déjà exposée aux dioxines et furannes à des doses plus élevées, principalement par la voie de la consommation de nourriture. Pour la population du bassin des Grands-Lacs, Haines *et al.* (1998) a estimé entre 2,3 et 2,6 pg ÉqT/kg p.c./jour la dose quotidienne moyenne la vie durant; l'exposition des personnes de 20 ans et plus se situerait spécifiquement autour de 1,2 pg ÉqT/kg p.c./jour. Les estimations de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ, comm. pers. 2004) rejoignent ces valeurs avec une exposition aux dioxines et furannes de 2,8 pg ÉqT/kg p.c./jour sur toute la durée de la vie d'un québécois, la dose par ingestion d'aliments comptant pour 88 % de l'apport quotidien. L'INSPQ estime l'exposition des adultes à 2,4 pg ÉqT/kg p.c./jour, soit le double de la valeur suggérée par Haines *et al.* (1998). Ces estimations varient en raison des données disponibles sur les bruits de fond et selon les valeurs retenues par les auteurs. Notons que le tabagisme⁸ et autres sources particulières ne sont pas inclus dans ces estimations. L'imprégnation aux dioxines et furannes de la population du Saguenay–Lac-Saint-Jean n'a jamais été mesurée avec précision. Mais, sur la base de quelques mesures dans le plasma sanguin d'adeptes de la pêche blanche au Saguenay (hiver 2000; Savard 2004), de façon générale, l'imprégnation régionale se situe au niveau du bruit de fond déterminé pour les populations urbaines des Grands Lacs et de Montréal.

L'objectif de l'Organisation mondiale de la santé (OMS 1998) est de réduire l'exposition des populations à des doses se situant entre 1 et 4 pg ÉqT/kg p.c./jour, soit la dose quotidienne moyenne à laquelle l'être humain est déjà exposé de nos jours. Dans une approche de protection de la santé humaine et d'assainissement de l'environnement, la dose de référence pour les apports quotidiens en dioxines et furannes de 1,0 pg ÉqT/kg p.c./jour est généralement celle retenue. Les spécialistes considèrent d'ailleurs que cette dose

⁸ Environnement Canada et Santé Canada ont estimé que l'exposition aux dioxines et furannes via le tabagisme serait d'environ 0,5 pg ÉqT/kg p.c./jour (*cf.* INSPQ, comm. pers. 2004).

représenterait le bruit de fond actuel pour les dioxines et les furannes (INSPQ, comm. pers. 2004).

Le risque toxicologique et l'exposition aux dioxines et furannes

Le risque toxicologique se définit comme la probabilité que des effets néfastes sur la santé humaine se produisent à la suite d'une exposition de la population à des contaminants environnementaux. Concernant spécifiquement les dioxines et furannes, l'objectif en santé publique s'inscrit dans la préoccupation mondiale de réduire le plus possible l'exposition des populations à ces cancérigènes persistants dans l'environnement et bioaccumulables. Les considérations relatives à la santé humaine s'appliquent à la profondeur pratique pour l'exposition directe au sol (0-5 cm sous la surface) et pour les voies potentielles d'exposition indirecte. Le concept de « sol » est donc utilisé ici dans son sens le plus large, c'est-à-dire, selon le Robert : « la partie superficielle de la surface pour le séjour de l'homme ».

Toute augmentation des teneurs en dioxines et furannes observée dans un environnement fréquenté par l'humain représente un risque additionnel à la santé. Toute situation entraînant des concentrations dans le sol supérieures au bruit de fond local peut représenter un risque additionnel à la santé.

Les dioxines et furannes étant des substances peu volatiles et non solubles, seule la contamination en surface est plus susceptible d'affecter la santé des usagers. Toutefois, la migration en profondeur de ces contaminants, particulièrement persistants sous la surface, devra être prise en compte dans la gestion environnementale du risque.

Les voies d'exposition aux contaminants du sol peuvent donc impliquer une exposition directe (ingestion de sol/poussières, absorption cutanée, inhalation de particules) ou indirecte au sol (contamination de la nappe phréatique, de l'air intérieur des bâtiments, de produits agricoles locaux; migration hors site). Les données locales sur les différentes voies d'exposition sont manquantes ou insuffisantes pour préciser cette exposition. Parmi les groupes les plus sensibles, on retrouve les enfants de 6 mois à 11 ans, car l'ingestion de poussières et de sols peut compter pour 37 à 78 % des apports quotidiens en dioxines et furannes associés à une contamination des sols au niveau du *critère B* (15 pg ÉqT/g) (INSPQ, comm. pers. 2004). Par ailleurs, l'ingestion de sols et de poussières, l'inhalation de l'air

ambiant et le contact cutané constitueraient les principales voies d'exposition pour les travailleurs.

L'apport quotidien par la voie du sol et de l'air ambiant s'additionne à l'exposition journalière de base via les aliments, l'eau et les produits de consommation. Ainsi, les risques posés par un lieu contaminé s'évaluent comme des risques supplémentaires à l'exposition de base.

Critères de qualité des sols

Au Canada, comme aux États-Unis, l'identification des « réservoirs » de dioxines et de furannes sans qu'il y ait rejet dans l'environnement (exemples : boues d'épuration, transfert du sol à la chaîne alimentaire) constitue la priorité (Hausmann Consulting 2001). Les critères de qualité des sols applicables aux dioxines et furannes présument que les terrains contaminés ne subiront plus d'apports additionnels, résultant donc en une décroissance des concentrations dans le sol avec le temps; ce qui n'est pas le cas dans la situation présente à Saint-Ambroise et Shipshaw.

Pour les fins de la mise en œuvre de la *Politique réhabilitation des terrains contaminés* parue en 1988 (révisée en 1998), le « critère B » établi en 1993 par le Service d'analyse de risque du ministère de l'Environnement s'appuie sur une approche dite de « tolérance acceptable », c'est-à-dire reposant sur le principe d'une augmentation négligeable des niveaux actuels d'exposition aux dioxines et furannes. Le critère québécois a été fixé à 15 pg ÉqT/g sur la base d'une dose additionnelle admissible de 0,03 pg ÉqT/kg p.c./jour (correspondant à une concentration additionnelle de 4,1 pg ÉqT/g de sol) et d'un bruit de fond associé à des sols en milieu urbain ou semi-rural, alors estimé entre 10 et 12 pg ÉqT/g (Trépanier 1993). Une autre approche aussi préconisée, celle de la « tolérance zéro », fixe le critère de décontamination des sols équivalant au bruit de fond mesuré, lorsque connu localement, tant pour les sols à usage résidentiel qu'industriel.

Le Conseil canadien des ministres de l'environnement (CCME) a recommandé en 2002 une concentration en dioxines et furannes dans les sols sous laquelle on ne prévoit aucun risque appréciable pour la santé humaine. Le CCME mentionne que ces recommandations sont utilisées « pour décontaminer jusqu'au niveau tolérable » les lieux contaminés et non

« pour polluer jusqu'au niveau tolérable » des lieux non contaminés. Pour le CCME, la recommandation canadienne pour la qualité des sols en fonction de la santé humaine (RQS_{SH}) de 4 pg ÉqT/g, qu'importe le type d'utilisation du terrain (résidentielle, agricole, commerciale et industrielle), assure un niveau élevé de protection et est considérée applicable à la majorité des sols canadiens. Cette recommandation, basée sur le bruit de fond moyen observé au Canada, rejoint d'ailleurs la concentration additionnelle dans les sols (ajoutée au bruit de fond présumé) ayant servi de base à établir le *critère B* de la politique québécoise de réhabilitation des terrains contaminés (Trépanier 1993).⁹

Les recommandations pour la qualité des sols, élaborées à partir d'un niveau de risque additionnel (c'est-à-dire, ajouté au risque de base) de l'ordre de un par million ou à partir du niveau de bruit de fond au Canada, s'appliquent pour des sols meubles historiquement contaminés et non pour des surfaces récemment contaminées et recevant des apports réguliers. En outre, ces critères doivent s'appliquer avec grande réserve dans la présente situation à Saint-Ambroise et Shipshaw pour ces principales raisons :

- ◆ la permanence et la méconnaissance de la source d'émissions en dioxines et furannes;
- ◆ la nature de la contamination, c'est-à-dire une contamination aux furannes à 4 et 5 atomes de chlore (T4CDF et P5CDF) au lieu d'une contamination aux dioxines à 7 et 8 atomes de chlore (H7CDD et OCDD);
- ◆ un bruit de fond local très bas, de l'ordre de 10 fois inférieur à la concentration généralement retenue dans les estimations d'apports pour les sols et les poussières intérieures.

Valeur guide pour l'air ambiant

La mesure en continu des dioxines et des furannes à l'air ambiant est indicatrice de la dispersion de ces contaminants dans l'environnement, mais pas du niveau d'exposition des populations. Cette mesure donne peu d'information sur le transfert effectif des dioxines et furannes vers le sol, les produits cultivés, les chaînes alimentaires et l'humain. Au point de

⁹ Par ailleurs, comme le souligne Trépanier (1993), il y a lieu de considérer qu'en vertu du règlement fédéral sur l'importation et l'exportation de déchets dangereux (DORS/92-637), la teneur maximale dans les sols à

vue sanitaire, l'exposition moyenne de la population aux dioxines et furannes se fait généralement à moins de 5 % par inhalation de l'air extérieur et intérieur, comparativement aux autres voies d'exposition (INSPQ, comm. pers. 2004). L'existence d'une source d'émission à l'atmosphère de dioxines et furannes à proximité d'aires de travail ou d'aires résidentielles peut cependant représenter une voie d'exposition non négligeable.

Au Québec, le ministère de l'Environnement recommande un critère de 60 fg ÉqT/m³ sur une moyenne annuelle pour l'air ambiant.

Lignes directrices pour la protection de la santé publique

Selon les lignes directrices du MSSS (2002), basées sur un risque cancérigène supérieur à un sur un million, un constat d'augmentation significative d'une substance persistante et bioaccumulable dans l'environnement, comme les dioxines et furannes, commande :

- ◆ la mise en place et l'application des meilleurs moyens pour diminuer à la source les émissions, les rejets ou l'exposition aux contaminants;
- ◆ la mise en place et l'application de méthodes de contrôle les plus appropriés;
- ◆ la surveillance des milieux et des populations touchés afin que l'intégrité dans le temps des mesures de contrôle soit assurée;
- ◆ la consultation du public et des groupes concernés.

Note sur la méthode de calcul de la toxicité du mélange de dioxines et furannes

Pour les fins de l'évaluation toxicologique, le calcul de la toxicité d'un mélange de dioxines et furannes pose problème lorsque plusieurs congénères spécifiques sont non détectés par la méthode analytique, mais de présence réelle. D'une part, le calcul de la sommation en équivalence toxique (ÉqT) attribuant la valeur zéro aux congénères non détectés sous-estime la toxicité réelle du mélange. D'autre part, la méthode de calcul attribuant la valeur de la limite de détection analytique (LDM) la surestime. Ainsi, la méthode de calcul de la sommation des équivalents toxiques attribuant la demi-valeur de la

usage industriel ne devrait pas dépasser 100 pg ÉqT/g, soit une concentration en dioxines et furannes suffisante pour classer une matière comme « dangereuse ».

limite de détection analytique aux congénères non détectés représenterait une estimation raisonnable de la toxicité du mélange pour les fins d'une évaluation toxicologique. Le Secrétariat de l'INRP d'Environnement Canada a publié en avril 2001 une directive suivant cette méthode de calcul.

Par convention, la méthode de calcul retenue dans ce rapport attribue également un facteur de 1,667 de la LDM pour les congénères détectés et non quantifiés dans l'analyse d'un échantillon.

Le tableau 1 présente les estimations de la toxicité du mélange en dioxines et furannes selon les trois méthodes de calcul de la sommation en équivalence toxique. Cette présentation donne une bonne indication de la fiabilité des résultats, particulièrement grande concernant les analyses effectuées dans le cadre de l'enquête du Centre de contrôle environnemental du Québec.

Valeurs du bruit de fond local pour les dioxines et furannes

Le « bruit de fond local » correspond aux concentrations en dioxines et furannes dans le sol de l'aire d'étude prévalant avant la mise en service de l'usine de RSI, c'est-à-dire celles provenant de sources d'origine anthropique autres que celle du site étudié.

Selon les mesures effectuées à l'an zéro et dans les stations témoins éloignées de 9 km de la zone urbaine, le bruit de fond local accuserait un niveau de toxicité moyen (moyenne géométrique) de 0,2 pg ÉqT/g pour les sols agricoles (champs de pommes de terre; N = 7), de 0,5 pg ÉqT/g pour les sols tourbeux (tourbière ombrotrophe; N = 4) et de 0,4 pg ÉqT/g pour les sols forestiers (pinède grise; N = 5). Les valeurs du bruit de fond pour les sols tourbeux et forestiers ont été validés par les échantillonnages effectués par le ministère de l'Environnement dans les stations témoins en 2003 et 2004 (tableau 1).

Les mesures effectuées dans des sols remaniés en marge des zones résidentielles et commerciales du secteur de Saint-Ambroise et de Shipshaw, situées à 2 km à l'ouest et à 1 et 2 km au sud de la cheminée, pouvant notamment être influencées par la circulation routière, les activités résidentielles et les activités du parc industriel de Saint-Ambroise, ont montré en novembre 1999 et novembre 2002 des valeurs variant entre 0,5 et 2,0 pg ÉqT/g de sol, avec une moyenne géométrique de 0,8 pg ÉqT/g (N = 9) (RRSSS 2004).

Délimitation de la zone de contamination en milieu boisé

Selon divers organismes (OMS, US.EPA, ATSDR, INSPQ, etc.), toute augmentation des teneurs en dioxines et furannes dans l'environnement, par rapport au bruit de fond local, représente un risque additionnel à la santé humaine.

À partir des données disponibles pour un même type de sol, il est possible, en considérant une marge d'incertitude, de déterminer une zone de contamination dont les concentrations moyennes seraient supérieures à dix fois le bruit de fond local pour les sols boisés, c'est-à-dire supérieure à 4 pg ÉqT/g de sol¹⁰. Cette projection ne s'applique pas pour les autres types de sols (agricoles, urbains, tourbeux), faute de données suffisantes.

Les teneurs en dioxines et furannes mesurées dans les sols boisés diminuent selon la distance de la source suivant une relation logarithmique. La zone renfermant des apports supérieures à dix fois le bruit de fond mesuré dans l'environnement boisé a été définie selon cette relation. Selon le nombre de mesures disponibles, la zone d'incertitude a été calculée d'après les intervalles de confiance à la moyenne fixée à 99 % dans l'axe des vents dominants et à 95 % dans l'axe nord-sud.

Ainsi, en direction ouest (vers le village de Saint-Ambroise), la zone dont les teneurs moyennes en dioxines et furannes dans les sols boisés seraient significativement supérieures à 4 pg ÉqT/g, s'étendrait jusqu'à 1250 mètres de la source, avec un zone d'incertitude jusqu'à 2100 mètres de la source (figure 1). Le nombre d'échantillons analysés vers l'est est insuffisant pour estimer l'étendue de la contamination. Toutefois, suivant l'axe des vents dominants, il est présumé que l'étendue de cette zone serait du même ordre vers l'est de la source (vers la rivière Shipshaw) compte-tenu que les teneurs en dioxines et furannes à environ 250 et 400 mètres à l'est sont équivalentes aux teneurs mesurées à l'ouest (tableau 1).

En direction sud (vers l'agglomération de Shipshaw), la zone dont les teneurs moyennes en dioxines et furannes dans les sols boisés seraient significativement supérieures à 4 pg ÉqT/g, se limiterait à 260 mètres de la source, avec un zone d'incertitude jusqu'à 850 mètres de la source (figure 2).

¹⁰ ne pas confondre ici avec la recommandation du CCME.

Enfin, en direction nord (vers des zones non habitées), la zone dont les teneurs moyennes en dioxines et furannes dans les sols boisés seraient significativement supérieures à 4 pg ÉqT/g, s'étendrait à 700 mètres de la source (figure 3). Le peu de stations échantillonnées dans cet azimut ne permet pas de préciser l'étendue de la zone d'incertitude.

Ces résultats sont cohérents avec le modèle de dispersion atmosphérique (Duguay et Cloutier, 1998). La figure 7 représente, avec un niveau de confiance raisonnable, l'étendue approximative de la zone de contamination en milieu boisé correspondant à dix fois le niveau du bruit de fond local.

Exposition des populations de Saint-Ambroise et de Shipshaw

La comparaison des distributions de fréquence de groupes homologues de dioxines et furannes (figure 4) indique que les sols boisés à proximité des populations environnantes ont été influencés par la source de contamination. La charge toxique associée aux 2378-T4CDF, 12378-P5CDF et 23478-P5CDF (qui compte pour 54 à 74 % de la charge toxique totale pour ces stations) est de cinq à six fois supérieure pour ces mêmes congénères mesurés à la station témoin de référence. Sans cet apport supplémentaire, le bruit de fond pour des sols boisés sous influence de la proximité des zones habitées serait établi entre 0,75 et 1,65 pg ÉqT/g, ce qui rejoint la moyenne géométrique de 0,8 pg ÉqT/g pour trois stations échantillonnées en novembre 1999 et 2002 en marge de zones urbanisées (à 2 km à l'ouest et à 1 et 2 km au sud de la cheminée de RSI dans le cadre du suivi périurbain). L'apport toxique supplémentaire observé en juillet 2004 dans ces sols boisés en zone urbaine ne représenterait pas pour le moment un risque cancérigène additionnel significatif pour les populations résidentes de Saint-Ambroise et de l'agglomération de Shipshaw située le long de la route 172.

Aucune mesure annuelle sur la qualité de l'air ambiant dans les agglomérations de Saint-Ambroise et de Shipshaw n'est disponible pour apprécier l'influence de la source dans l'axe des vents dominants. Les quelques échantillons d'air ambiant prélevés à l'été 2004 par le CCEQ, alors que les agglomérations n'étaient pas sous l'influence de la source, indiquent un bruit de fond moyen de 0,70 fg ÉqT/m³ (étendue 0,28–1,56; échantillonnages sur 24 heures; N = 4), soit 50 fois moins que la valeur médiane pour les zones urbaines du Québec (36 fg

ÉqT/m³)¹¹ retenue par l'INSPQ pour l'estimation des doses d'exposition quotidienne (INSPQ, comm. pers. 2004).

En dehors des zones résidentielles, en milieu industriel et commercial, les deux résultats d'échantillonnage de l'air ambiant à 260 mètres à l'est de la cheminée de RSI, les 9 et 10 juin 2004, alors que les vents souffaient de l'ouest, indiquent respectivement des concentrations de 1677 et 1320 fg ÉqT/m³ (échantillonnage sur environ 8 heures), de l'ordre de 2000 fois plus élevées que le bruit de fond mesuré aux mêmes dates. Il n'y a pas de norme établie pour l'air ambiant en milieu de travail.

Évolution de la contamination des sols en présence de la source

Les mesures de contrôle prises entre mai et juillet 2004, comparées aux résultats de novembre 2003, suggèrent une augmentation constante des teneurs en dioxines et furannes à 400 mètres à l'ouest et à l'est de la source. Selon une projection logarithmique de la contamination des sols boisés mesurée dans l'axe des vents dominants à 400 mètres de la source (figure 5), il est appréhendé que les dioxines et furannes s'accumuleront dans les sols avec les années, jusqu'à atteindre un niveau inacceptable près de la source, voir une charge toxique significativement supérieur au bruit de fond à la limite des zones habitées.

Persistance des dioxines et furannes dans les sols contaminés

La persistance des dioxines et furannes dans le sol est reconnue; Trépanier (1993) expose des valeurs de demi-vie globale tenant compte de l'ensemble des processus de photo-dégradation, de transport et de transfert dans les chaînes alimentaires.

À titre indicatif, la persistance des P5CDF dans la partie superficielle du sol a été examinée puisque ces congénères comptent pour 69 % de la charge toxique mesurée dans les sols plus contaminés dans un rayon de 400 mètres autour de la cheminée de RSI. En l'absence d'apports additionnels, les teneurs en surface pourraient théoriquement diminuer à 4 pg ÉqT/g après 5 à 12 ans à 250 mètres de la source, et après 4 à 10 ans à 400 mètres (figure 6). Il faudra compter théoriquement jusqu'à plus de 20 ans avant de retrouver des teneurs équivalentes au bruit de fond (0,4 pg ÉqT/g). Cependant, les quantités qui auront

¹¹ Aussi semblable à la concentration de 40 fg/m³ mesurée à Montréal (INSPQ, comm. pers. 2004).

migré en profondeur dans le sol, avec une demi-vie estimée à 171 ans pour les P5CDF, persisteront vraisemblablement pendant plusieurs siècles.

Bioaccumulation des dioxines et furannes dans les chaînes alimentaires

Aucune donnée locale sur la bioaccumulation dans les chaînes alimentaires n'est disponible afin d'élaborer des recommandations basées sur le risque toxicologique pour la consommation de gibier ou de poisson.

Conclusion

La qualité des résultats de l'enquête réalisée par le Centre de contrôle environnemental du Québec a permis une appréciation raisonnable du risque sanitaire d'après la qualité de sols mesurée au cours de l'été 2004. Les opérations régulières de l'usine de Récupère Sol émettent des quantités non négligeables de dioxines et de furannes dans l'environnement qui ont modifié significativement, en l'espace d'un an, la qualité de sols en surface pour atteindre un niveau préoccupant – c'est-à-dire significativement supérieur au bruit de fond local – pour la protection de la santé publique. La zone de contamination, dont les concentrations sont supérieures à 4 pg ÉqT/g, c'est-à-dire à dix fois le bruit de fond local, s'étend sur au moins 1250 mètres de chaque côté de la source dans l'axe des vents dominants, sur au moins 260 mètres au sud de la source, et sur au moins 700 mètres au nord ou au nord-est de la source. L'usage des sols relevés dans cette zone est principalement de nature commerciale (parc industriel, sablières, foresterie), agricole (culture de céréales fourragères, de la pomme de terre et du bleuet) et récréative (chasse, cueillette de fruits sauvage). Les populations résidentes environnantes ont été faiblement exposées par la source de contamination; les teneurs observées en dioxines et furannes dans les sols boisés en marge des habitations accuseraient un niveau tolérable selon les critères actuellement en vigueur pour la protection de la santé publique.

Il est appréhendé que les apports additionnels, constants et significatifs en dioxines et furannes dans les sols, particulièrement dans leur forme la plus toxique, pourraient atteindre en quelques années des teneurs encore plus élevées près de la source et des teneurs préoccupantes en marge des zones présentement habitées.

La présente situation à Saint-Ambroise et Shipshaw, telle qu'examinée sur le plan de la protection de la santé publique, renforce les appréhensions soulevées depuis le début du dossier par les autorités de Santé publique et justifie de façon non équivoque que de nouvelles mesures de gestion environnementale¹² s'imposent et que le public en soit informé. La préoccupation première de santé publique est d'éviter une augmentation de l'exposition chronique des populations aux dioxines et furannes. Les différentes options de gestion du risque envisagées et à envisager pour corriger les émissions de l'usine de Récupère Sol ne peuvent être prises en considération tant que l'applicabilité à long terme ne sera pas démontrée par un suivi environnemental adéquat, incluant le transport des sols contaminés et la gestion des sols traités.

Références

- Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Décembre 1998. Toxicological profile for chlorinated dibenzo-*p*-dioxins. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service.
- Beauchamp, André (sous la direction de). 2002. Principes directeurs d'évaluation du risque toxicologique pour la santé humaine de nature environnementale. Collection orientations et interventions, no 6. Groupe de travail sur les principes directeurs de gestion du risque toxicologique. La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec. 124 pages.
- Beaulieu, Michel & Ruth Drouin. 1998. Politique de protection des sols et de réhabilitation des terrains contaminés. Gouvernement du Québec. Les Publications du Québec, Sainte-Foy (Québec) G1N 2E5. 124 pages.
- Beausoleil, Monique, Luc Lefebvre, Daniel G. Bolduc, Denis Belleville & Denise Phaneuf. 2002. Lignes directrices pour la réalisation des évaluations du risque toxicologique pour la santé humaine. Groupe scientifique sur l'évaluation du risque toxicologique de l'Institut national de la santé publique du Québec. Collection orientations et interventions, no 7. La Direction des communications du ministère de la Santé et des Services sociaux, Québec. 124 pages.
- Belleville, Denis & Denise Phaneuf. Avril 2000. Évaluation sommaire du risque des émissions à la cheminée de l'unité du traitement thermique Récupère Sol. Groupe scientifique sur l'évaluation du risque toxicologique. Institut national de santé publique du Québec. 49 pages.
- Carrier, Gaétan. 1991. Réponse de l'organisme humain aux BPC, dioxines et furannes et analyse des risques toxiques. Le Passeur, Québec. 484 pages.

¹² Par gestion environnementale, on entend : « la mise en place et l'application des meilleurs moyens pour diminuer à la source les émissions, les rejets ou l'exposition aux contaminants; la mise en place et l'application de méthodes de contrôle les plus appropriées; de même que la surveillance des milieux et des populations touchées afin que l'intégralité dans le temps des mesures de contrôle soit assurée » (MSSS 2002).

- Conseil canadien des ministres de l'environnement. 1999. Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Environnement et santé humaine – résumé du Protocole d'élaboration de recommandations pour la qualité des sols en fonction de l'environnement et de la santé humaine, dans *Recommandations canadiennes pour la qualité de l'environnement*, chapitre 7, CCME, Winnipeg.
- Conseil canadien des ministres de l'environnement. 2002. *Recommandations canadiennes pour la qualité des sols : Sommaire des recommandations canadiennes existantes pour la qualité de l'environnement*. Tableau sommaire, mis à jour 2002. CCME, Winnipeg.
- Direction de santé publique du Saguenay–Lac-Saint-Jean. 14 janvier 2004. Évaluation du risque à la santé d'après la qualité des sols de la zone d'influence de l'usine de Récupère Sol à Saint-Ambroise. RRSSS-02, Chicoutimi. 19 pages.
- Duguay, Pierre & Maxime Cloutier. 18 août 1998. Rapport de l'étude de dispersion, modélisation des émissions atmosphériques du centre de traitement des sols situé à Saint-Ambroise. Pour Récupère-Sol inc. Expertises en environnement Arthur Gordon Ltée, 1390, rue Hocquart, St-Bruno (Québec) J3V 6E1. 43 pages + annexes.
- Haines, Douglas (sous la direction de). 1998. *Persistent Environmental Contaminants and the Great Lakes Basin Population : An Exposure Assessment*. Santé Canada. 358 pages.
- Hausmann Consulting. Mai 2001. Travaux de la réunion nationale multisectorielle sur les standards pancanadiens relatifs aux dioxines et aux furannes du 21 au 23 mars 2001. 40 pages.
- Leroux, Marc. 17 janvier 2000. Analyse des sols autour de l'usine de Récupère-Sol inc. N/Réf. : 7610-02-01-0603803. Lettre de la Direction régionale Saguenay–Lac-Saint-Jean du ministère de l'Environnement du Québec. 4 pages + annexes.
- Ministère de l'Environnement du Québec. 14 mai 2003. Projet 2002-1340-101 : suivi péri-urbain Récupère-Sol; Nouveaux certificats d'analyse, dioxines et furannes chlorés. Centre d'expertise en analyse environnementale, Québec.
- Savard, M. 2004. Étude toxicologique sur la consommation de poisson de pêche blanche sur le fjord du Saguenay. Plan d'action Saint-Laurent Vision 2000, Santé Canada. Direction de santé publique du Saguenay–Lac-Saint-Jean, RRSSS-02, Ville de Saguenay. 188 pages + annexes.
- Techmat inc. 23 juillet 2004. Caractérisation des sols de surface, suivi périurbain 2003 (an 6). PRÉLIMINAIRE. Pour Récupère Sol, Saint-Ambroise. 8 pages + annexes.
- U.S.EPA, Region 6. 2001. U.S.EPA Region 6, Human Health Medium-Specific Screening Levels, US Environmental Protection Agency, Region 6, Dallas, Texas, November 2001 revisions.
- U.S.EPA, Region 6. 2004. Human Health Medium, Specific Screening Levels 2003-2004.
- U.S.EPA, Region 9. 2000. U.S.EPA Region 9 Preliminary Remediation Goals. US Environmental Protection Agency, Region 9, San Francisco California. 2000 Updates.
- Trépanier, J-Pierre. Août 1993. Critères de décontamination des sols à usages résidentiel et industriel pour les dioxines et furannes. Service d'analyse du risque, ministère de l'Environnement du Québec. 21 pages + annexes.
- WHO (World Health Organization – OMS, Organisation mondiale de la santé). Mai 1998. Assessment of the health risk of dioxins : re-evaluation of the Tolerable Daily Intake (TDI). Executive summary. WHO Consultation, May 25-29 1998, Geneva, Switzerland. WHO European Centre for Environment and Health, International Program on Chemical Safety. 20 pages.

TABLEAU 1. – Résultats d'analyse des dioxines et des furannes (PCDD/PCDF) dans des sols boisés à Saint-Ambroise et les environs.

AUTEUR	STATION	DATE	DISTANCE DE LA CHEMINÉE DE <i>RÉCUPÈRE SOL</i>	CALCULS DE LA TOXICITÉ DU MÉLANGE DE DIOXINES ET DE FURANNES (PCDD/PCDF)		
				Valeur de la LDM attribuée	Demi-valeur de la LDM attribuée	Valeur zéro (0) attribuée
MENV_CCE	4-E	20 juillet 2004	220 m ouest	130,93	130,88	130,83
MENV_CCE	D	9 juin 2004	290 m ouest	67,28	67,24	67,20
MENV_DR	4010	10 mai 2004	400 m ouest	44,98	44,90	44,82
MENV_CCE	B	8 juin 2004	400 m ouest	39,02	38,96	38,90
RSI	4011-1	20 nov. 2003	800 m ouest	9,67	9,44	9,20
MENV_CCE	O	7 juillet 2004	2100 m ouest	3,02	3,00	2,98
MENV_CCE	N	7 juillet 2004	2170 m ouest-nord-ouest	1,92	1,90	1,89
MENV_CCE	3-E	20 juillet 2004	56 m sud	*117,51	*117,51	117,51
MENV_CCE	6-E	20 juillet 2004	59 m sud	256,85	256,80	256,75
MENV_CCE	C	8 juin 2004	123 m sud-ouest	*53,91	*53,91	53,91
MENV_CCE	J	9 juin 2004	336 m sud	3,51	3,44	3,38
MENV_CCE	P	8 juillet 2004	790 m sud	1,87	1,56	1,25
MENV_CCE	E	9 juin 2004	248 m est	60,62	60,59	60,56
MENV_DR	4004	10 mai 2004	400 m est	31,23	31,16	31,10
MENV_CCE	A	8 juin 2004	400 m est	39,73	39,68	39,63
MENV_CCE	5-E	20 juillet 2004	97 m nord	27,09	27,04	26,98
MENV_CCE	F	9 juin 2004	277 m nord-est	13,14	13,10	13,05
MENV_CCE	I	9 juin 2004	291 m nord	10,18	10,15	10,13
MENV_CCE	G	9 juin 2004	869 m nord-est	6,05	5,98	5,91
MENV_DR	pt-2	19 nov. 1997	500 m ouest (an zéro)	0,14	0,10	0,06
MENV_DR	pt-5	19 nov. 1997	800 m sud (an zéro)	0,54	0,50	0,47
MENV_DR	4014	28 nov. 2002	~9000 m nord-est (témoin)	0,43	0,41	0,35
MENV_DR	4014	19 nov. 2003	~9000 m nord-est (témoin)	0,49	0,33	0,17
MENV_CCE	H	9 juin 2004	~9000 m nord-est (témoin)	0,53	0,48	0,44

* tous les congénères de PCDD/PCDF ont été détectés.

LDM : limite de détection de la méthode analytique.

MENV_CCE : Centre de contrôle environnemental, ministère de l'Environnement du Québec.

MENV_DR : Direction régionale du Saguenay-Lac-Saint-Jean, ministère de l'Environnement du Québec.

RSI : Récupère Sol inc.

Compilation : Direction de santé publique, Agence de santé et des services sociaux du Saguenay-Lac-Saint-Jean

TABLEAU 2. – Facteurs d'équivalence de la toxicité (FÉT) pour les dioxines et furannes.

DIOXINES	FÉT	FURANNES	FÉT
2378-T4CDD	1	2378-T4CDF	0,1
12378-P5CDD	0,5	12378-P5CDF	0,05
123478-H6CDD	0,1	23478-P5CDF	0,5
123678-H6CDD	0,1	123478-H6CDF	0,1
123789-H6CDD	0,1	123678-H6CDF	0,1
1234678-H7CDD	0,01	123789-H6CDF	0,1
OCDD	0,001	234678-H6CDF	0,1
—	—	1234678-H7CDF	0,01
—	—	1234789-H7CDF	0,01
—	—	OCDF	0,001

La molécule la plus toxique, la dioxine 2378-T4CDD, sert d'étalon dans la table d'équivalence du degré de toxicité des autres congénères (Carrier 1991; conventions internationales selon Kutz *et al.* 1990 et Ahlborg *et al.* 1994).

TABLEAU 3. – Unités de mesure.

EXPRESSION	LANGUE FRANÇAISE	NUMÉRIQUE	SCIENTIFIQUE
t (tonne métrique)*	1000 kilos ou 1 000 000 de grammes	1 000 000	1E+06 g
kg (kilogramme)	1000 grammes	1000	1E+03 g
g (gramme)	1 gramme	1	1E+00 g
mg (milligramme)	1 millième de gramme	0,001	1E-03 g
µg (microgramme)	1 millionième de gramme	0,000 001	1E-06 g
ng (nanogramme)	1 milliardième de gramme	0,000 000 001	1E-09 g
pg (picogramme)	1 billionième de gramme	0,000 000 000 001	1E-12 g
fg (femtogramme)	1 trillionième de gramme	0,000 000 000 000 001	1E-15 g
µg/g ou mg/kg	partie par million	0,000 001	1E-06 ppm
ng/g ou µg/kg	partie par milliard **	0,000 000 001	1E-09 ppb
pg/g ou ng/kg	partie par billion ***	0,000 000 000 001	1E-12 ppt
fg/g ou pg/kg	partie par trillion ****	0,000 000 000 000 001	1E-15 ppq

* 2205 livres (tonnes courtes = 2000 livres)

** partie par billion en anglais (ppb). *** partie par trillion en anglais (ppt). **** partie par quadrillion en anglais (ppq).

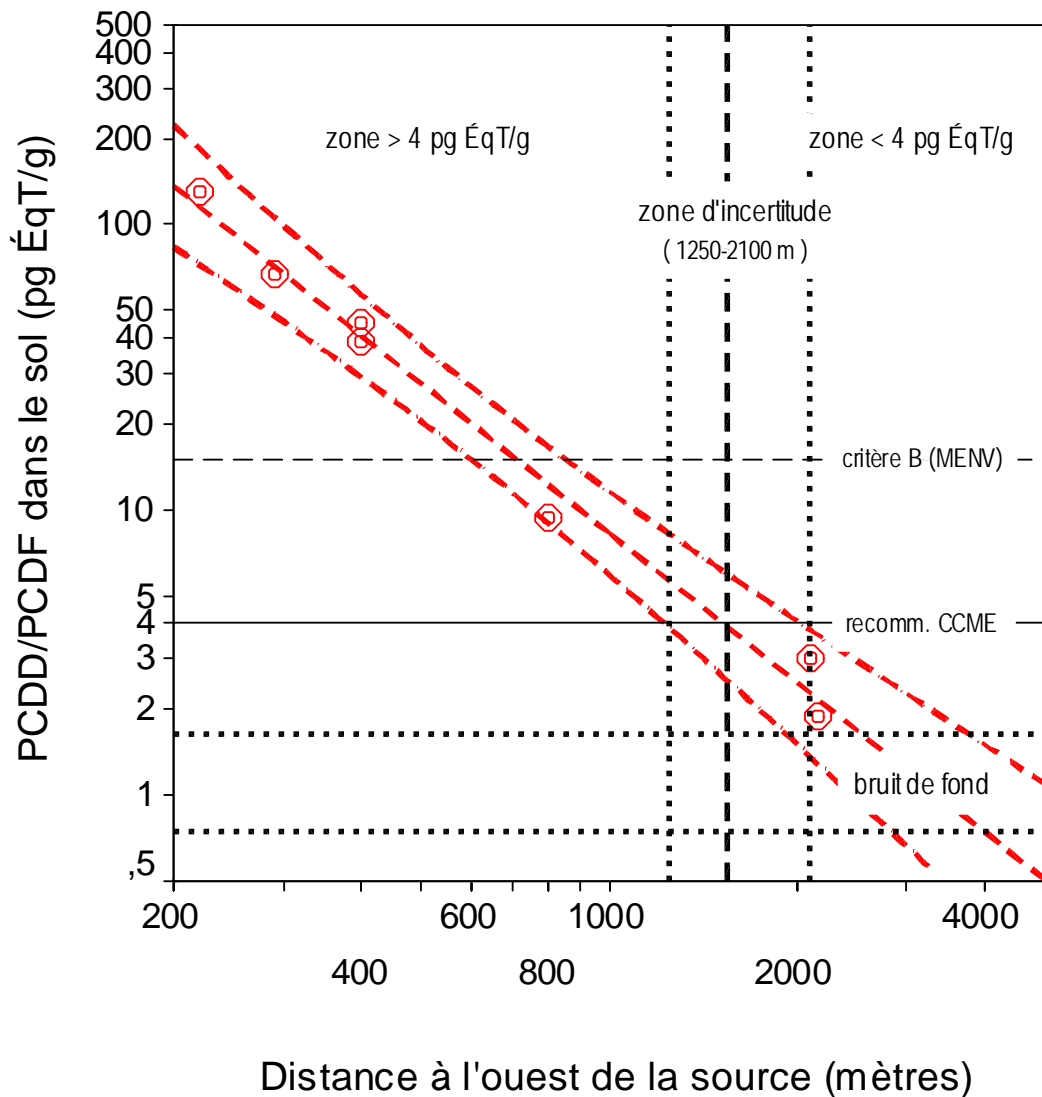


FIGURE 1. –Variation logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée à l'ouest de la source (intervalles de confiance de la moyenne à 99 %; bruit de fond local en marge des zones habitées établi à 0,75–1,65 pg ÉqT/g pour les sols boisés et à 0,8 pg ÉqT/g pour les sols remaniés en zone résidentielle et commerciale). Le critère du MENV et la recommandation du CCME apparaissent à titre indicatif.

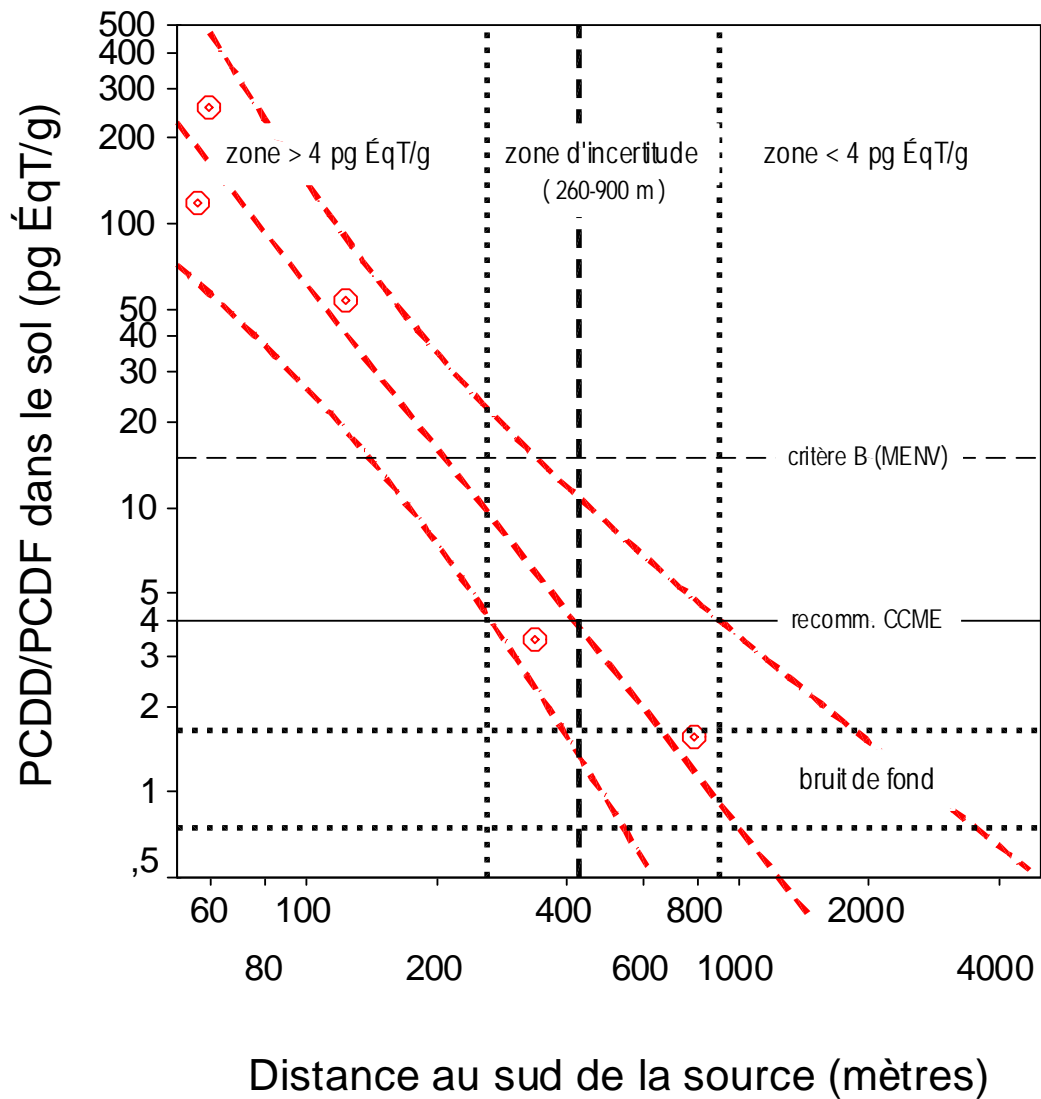


FIGURE 2. –Variation logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée au sud de la source (intervalles de confiance de la moyenne à 95 %; bruit de fond local en marge des zones habitées établi à 0,75–1,65 pg ÉqT/g pour les sols boisés et à 0,8 pg ÉqT/g pour les sols remaniés en zone résidentielle et commerciale). Le critère du MENV et la recommandation du CCME apparaissent à titre indicatif.

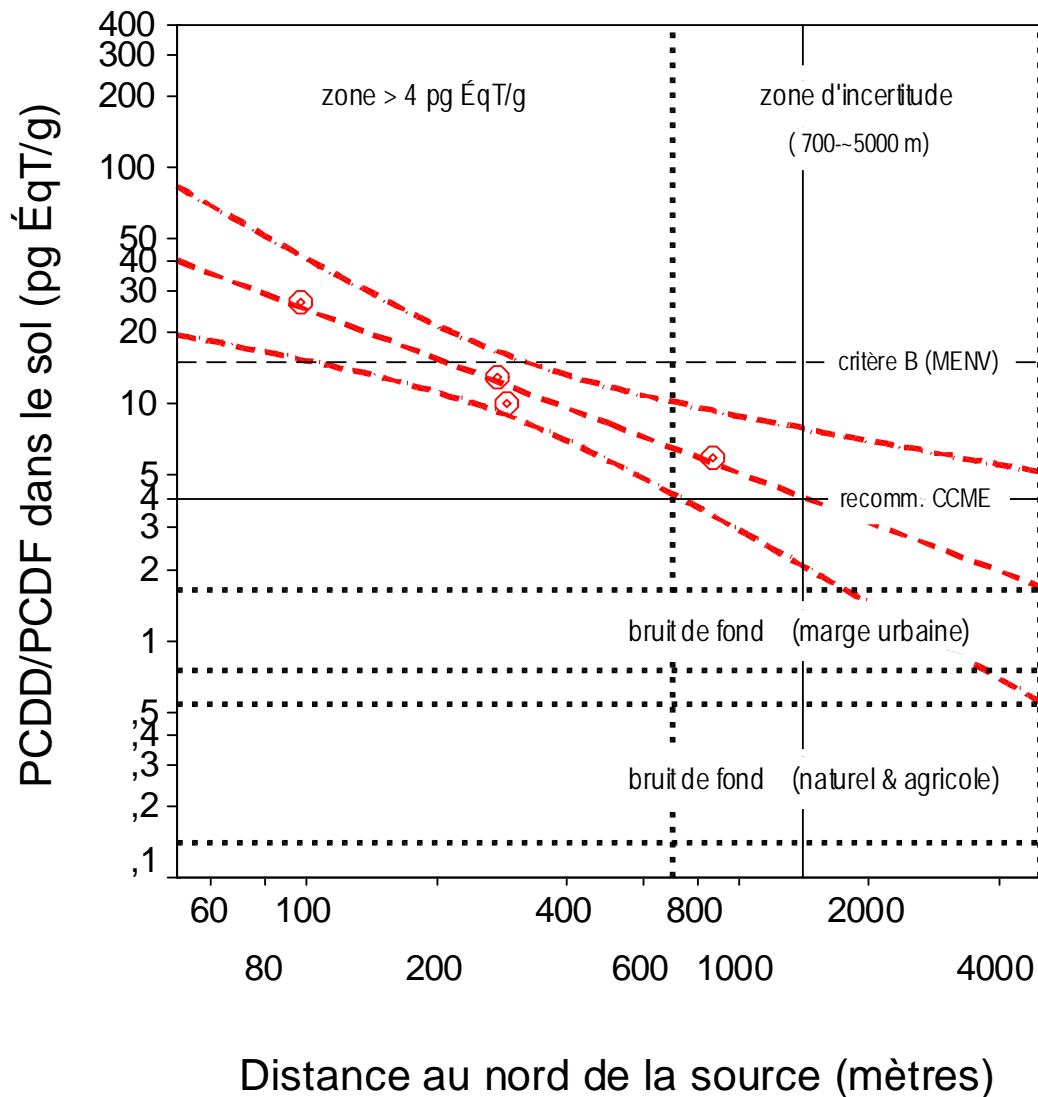


FIGURE 3. – Variation logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée au nord et au nord-est de la source (intervalles de confiance de la moyenne à 95 %; bruit de fond local en marge des zones habitées établit à 0,75–1,65 pg ÉqT/g pour les sols boisés et à 0,8 pg ÉqT/g pour les sols remaniés en zone résidentielle et commerciale; bruit de fond local pour les sols boisés, éloignés des zones urbanisées (milieu naturel), de 0,4 pg ÉqT/g (étendue de 0,14–0,54; N = 5); bruit de fond local pour les sols agricoles (champs de pommes de terre à un et deux kilomètres au nord de l'usine de RSI) de 0,2 pg ÉqT/g (étendue de 0,16–0,51; N = 7)). Le critère du MENV et la recommandation du CCME apparaissent à titre indicatif.

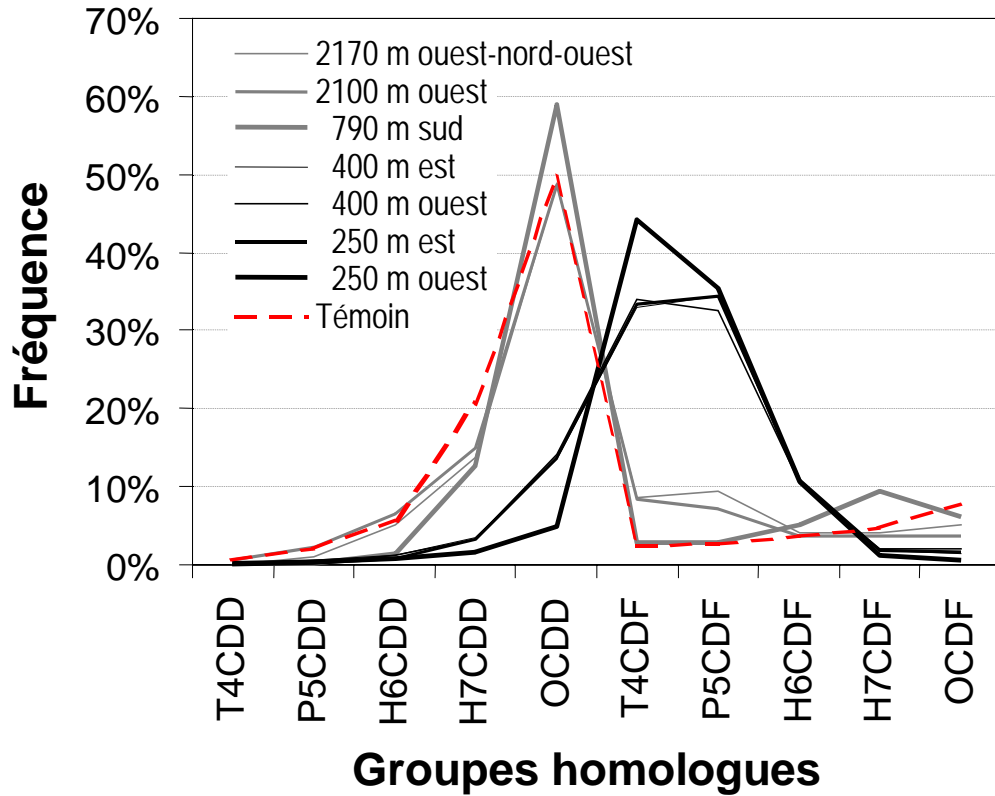


FIGURE 4. – Comparaison des distributions de fréquence des groupes homologues de dioxines et de furannes mesurés dans des sols boisés pour les trois stations situées en périphérie des zones habitées (en gris), celles situées à 250 et 400 mètres à l'ouest et à l'est de la source (en noir) et la station témoin de référence (en ligne brisée rouge).

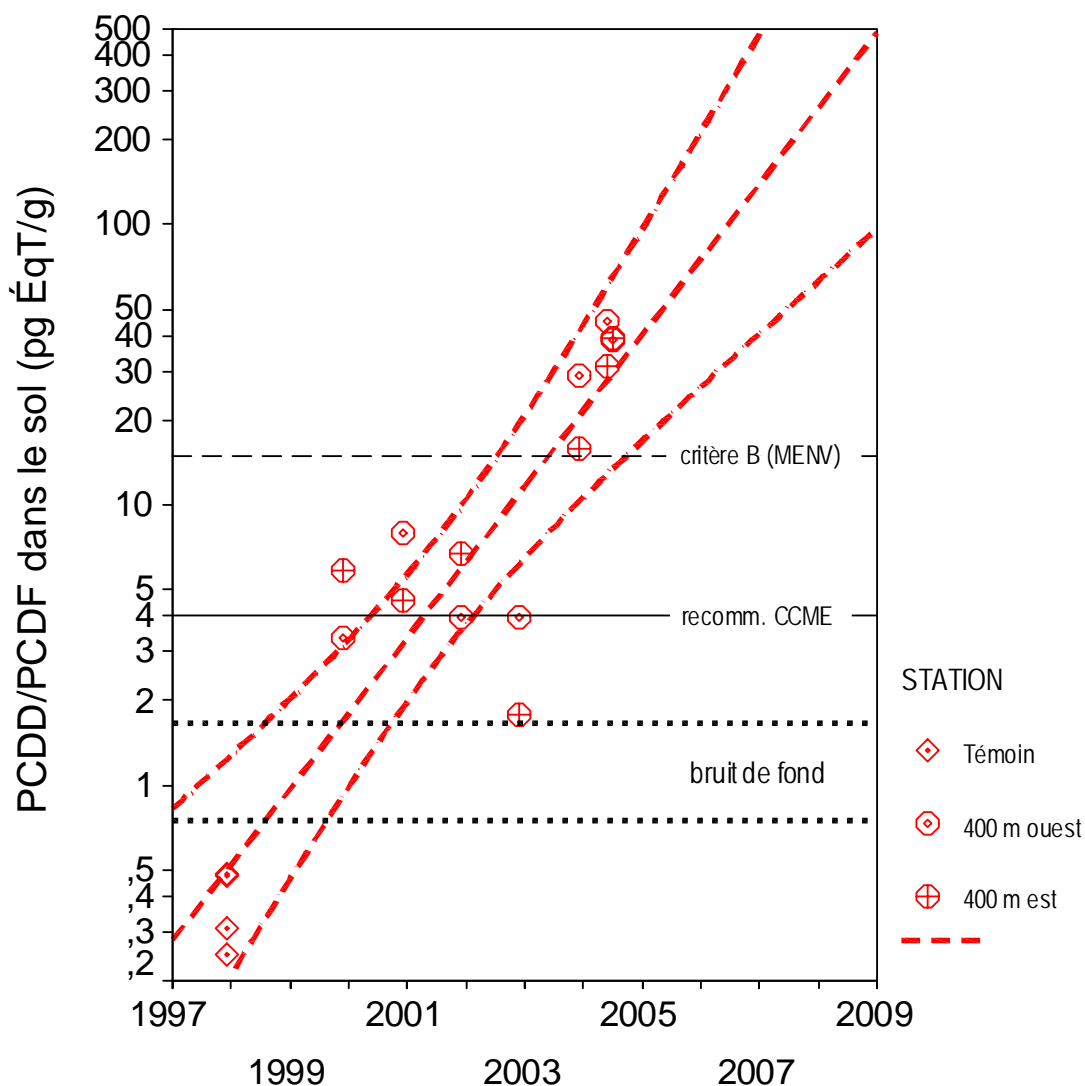


FIGURE 5. – Projection logarithmique de la toxicité des sols boisés mesurée dans l'axe des vents dominants à 400 mètres à l'ouest et à l'est de la source (an zéro = novembre 1997; intervalles de confiance de la moyenne à 99 %; bruit de fond local en marge des zones habitées établi à 0,75–1,65 pg ÉqT/g pour les sols boisés et à 0,8 pg ÉqT/g pour les sols remaniés en zone résidentielle et commerciale). Le critère du MENV et la recommandation du CCME apparaissent à titre indicatif.

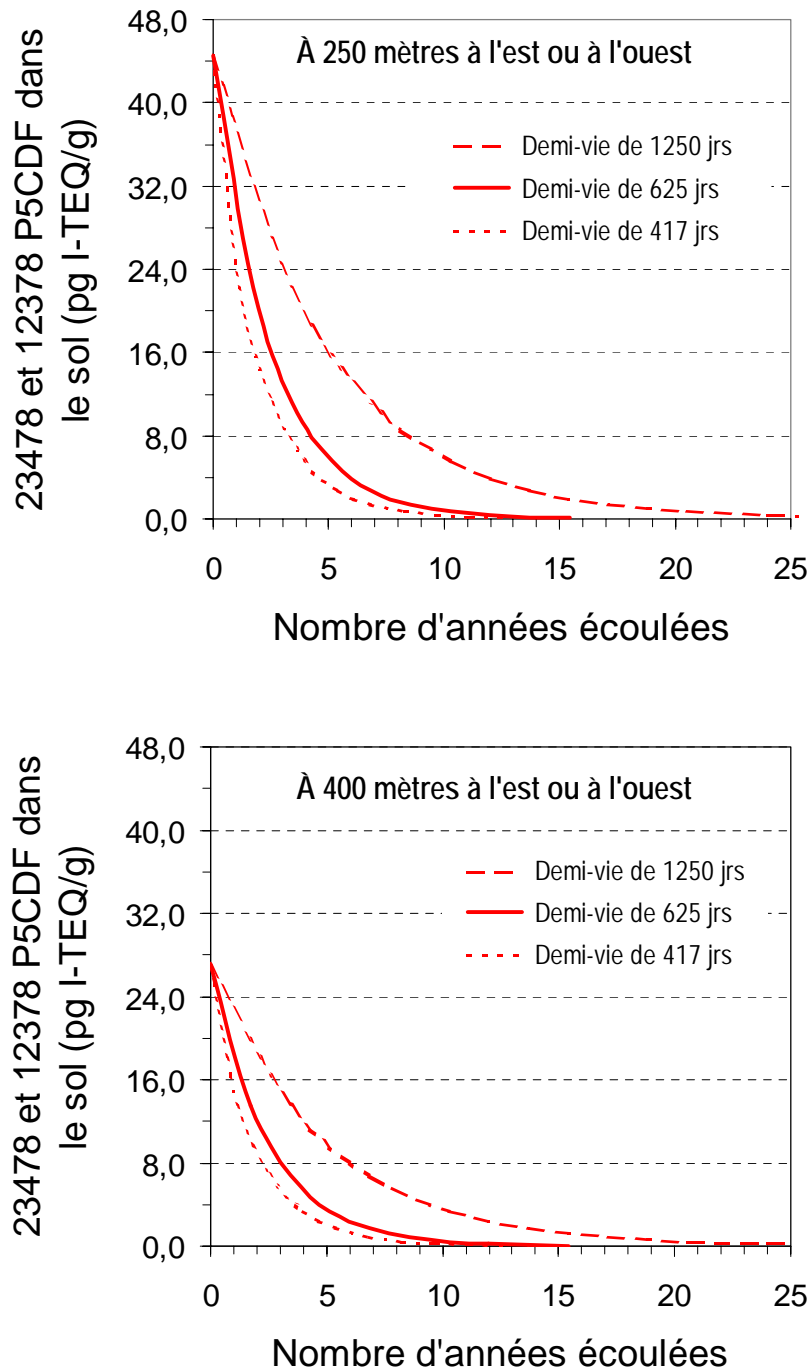


FIGURE 6. – Évolution théorique, en l'absence d'apports additionnels, de la charge toxique des 2348-P5CDF et 12378-P5CDF dans la partie superficielle des sols à 250 et à 400 mètres de la source dans l'axe des vents dominants (selon les demi-vies suggérées par Mackay *et coll.* 1992).

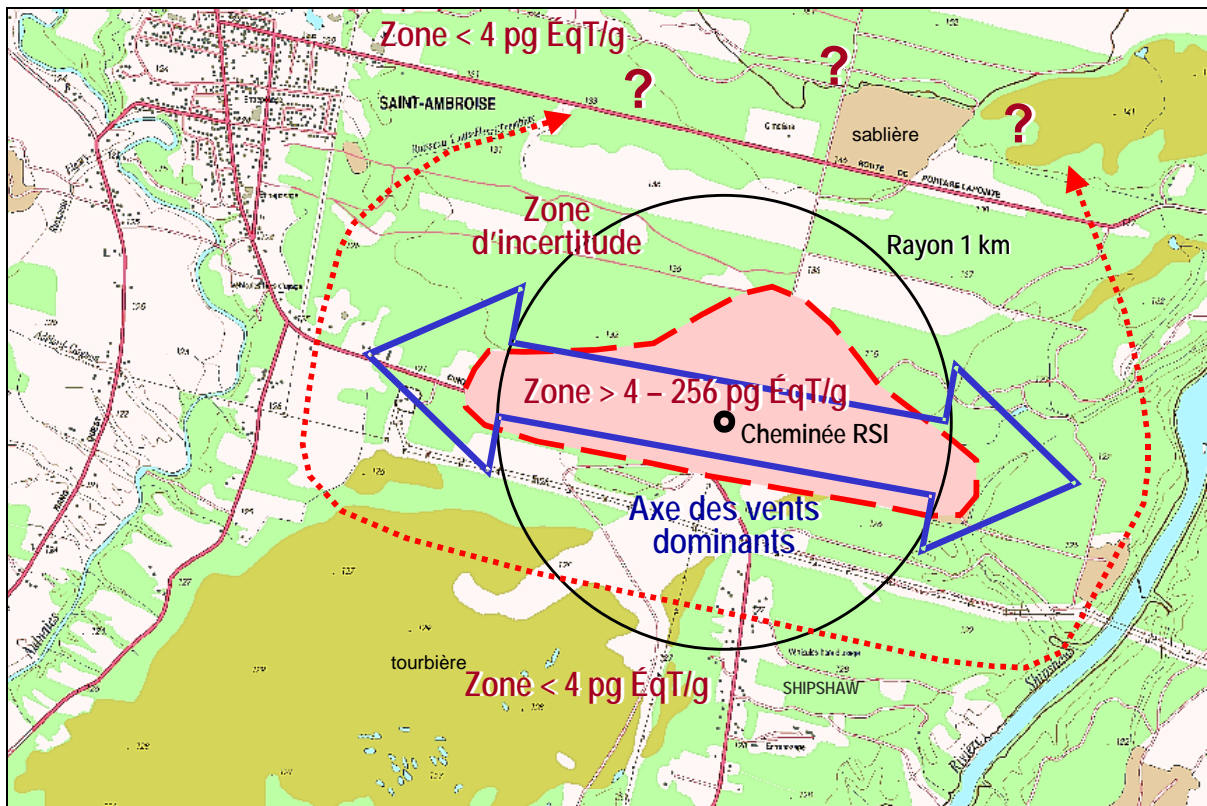


FIGURE 7. – Délimitation de la zone de contamination d'après les teneurs en dioxines et furannes dans les sols boisés significativement supérieures à dix fois le bruit de fond (> 4 pg ÉqT/g) selon les intervalles de confiance de la moyenne à 99 % dans l'axe des vents dominants et à 95 % dans l'axe nord-sud.