

Le Management de l'environnement dans l'action contre les mines

La dégradation des explosifs

Les composés explosifs contenus dans les munitions, toxiques et très stables, polluent un grand nombre de sites dans le monde, dont la plupart restent encore à inventorier. Beaucoup de méthodes existent pour traiter ces pollutions : la phyto-remédiation, le brûlage, etc. Mais on attend beaucoup de la biodégradation par des micro-organismes tels que les champignons filamenteux ou certaines souches bactériennes¹.

Problématique

De nombreux pays dans le monde sont pollués par des matières explosives brutes ou contenues dans des munitions telles que le TNT et le RDX. Ces lieux ont souvent été des lieux de stockage de matières explosives et, dans la majorité des cas, les sols et les eaux souterraines sont contaminés par transfert.

La France a créé, par l'intermédiaire du Ministère de la Défense, un fonds d'intervention pour l'environnement (FIE) qui pour but de gérer l'impact des industries de la Défense et des activités militaires sur l'environnement.

Toxicologie

Qu'en est-il de la toxicité des matières explosives ? Les aromatiques nitrés (Trinitrotoluènes : TNT, DNT et MNT) et les nitrates (RDX et HMX) sont extrêmement nocif pour la santé à des quantités très faibles. L'institut de chimie des substances naturelles du CNRS de Gif-sur-Yvette a défini que « *moins de 2.5 ppm (parties par millions) est un poison pour les algues unicellulaires et les larves d'huîtres et conduit à 50% de mortalité chez les petits poissons d'eau douce* ». Sur l'homme, les observations effectuées sur de s employés dans des usines d'armement montreraient que la mortalité par exposition au TNT était significativement due à des hépatites et des anémies.

De part leur structure moléculaire, les composés explosifs sont très résistants à la dégradation même à haute température.

Le Plomb² :

En raison de ses caractéristiques (poids, malléabilité, disponibilité), le plomb est le composant le plus ancien et le plus utilisé pour fabriquer les projectiles et grenaille pour armes à feu et canons. Des milliards de billes de plomb durci d'arsenic et/ou d'antimoine ont été fabriquées pour les obus Shrapnel les plus utilisés dans les zones de tranchées.

¹ La biodégradation des explosives – L. Le Campion et J. Ouazzani – Institut de chimie des substances naturelles, CNRS 91198 Gif-sur-Yvette cedex dans BIOFUTUR n°174, janvier 1998.

² <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsnfrn/nfrn0967.html>

Le plomb, à l'état de molécules bio assimilables est une substance très toxique pour tous les animaux et l'homme, notamment pour l'embryon et le fœtus.

Impacts à long terme des munitions tirées et obus ayant explosé

On ignore ce que sont devenus les tonnes de mercure libérés par les amorces contenues dans les munitions. Depuis un siècle, les taux de mercure croissent dans l'environnement, en mer notamment, mais il reste difficile d'en tracer l'origine. De plus le fulminate de mercure naturellement très instable était souvent stabilisé et protégé dans une capsule assez résistante à la corrosion, ce qui pourrait ralentir sa diffusion dans l'environnement.

Pour le triplé Plomb/Antimoine/Arsenic, les sites longuement pilonnés par les obus shrapnels sont probablement ceux qui pourraient poser le plus problème. En France, c'est a priori essentiellement sur terre et en "Zone Rouge" (11 départements), et plus particulièrement dans les secteurs de Verdun, de la Somme et de Vimy que ce problème se pose, avec une densité de plomb-métal qui compte parmi les plus élevées au monde. Ce « *plomb de guerre* » est un déchet toxique et dangereux, présent en quantité dispersée. C'est une forme de séquelle très mal prise en compte par la législation et les administrations, et non évalué du point de vue éco toxicologique et sanitaire.

En France, l'école nationale vétérinaire de Nantes a également confirmé¹³ et précisé le niveau de risque de saturnisme aviaire pour les oiseaux d'eau (expériences d'intoxications de canards colverts).

On a curieusement éludé l'étude et le suivi des impacts écologiques et sanitaire des munitions de guerre, même là où elles ont été le plus utilisées, en particulier autour de Verdun, de Vimy ou dans la Somme, là où les sols ont été soumis à une pluie de feu, de fer et de plomb durant plusieurs mois parfois. Ni en milieu agricole, ni en milieu forestier ou urbain, il ne semble y avoir eu d'évaluation scientifique sérieuse, pas plus que de gestion des impacts écologiques liés à la toxicité des métaux lourds ou des composants des munitions de la "grande guerre". Quelques indices montrent pourtant que le monde agricole soupçonnait dès les années 1920 les risques lié aux métaux lourds.

Les premiers travaux publiés sur ce sujet en France ne datent que de la fin des années 1990 ou du début du XXI^e siècle⁴.

La nature et le pH du sol ont une grande importance pour la mobilité et la biodisponibilité de ces métaux. Par chance, la plupart des zones de combat présentaient des sols calcaires réputés peu propices à la circulation rapide des métaux toxiques.

Le risque d'incendie et d'érosion sont aussi à prendre en compte.

³ *Effet de l'ingestion de plombs de chasse sur la reproduction du canard colvert*, thèse du Dr vétérinaire Mathilde Mezieres (ENV-Nantes)

Effet de l'ingestion de plombs de chasse sur le comportement alimentaire et la condition corporelle du canard Colvert Thèse du Dr vétérinaire Arnaud Duranel (ENV Nantes) Oct 99.

École nationale vétérinaire de Nantes ; étude de la relation dose-effet chez les anatidés. Méthode Gavage par plomb n°6 - avec lots témoins gavés aux billes de verre. - avec 1 plomb : Mortalité comprise entre 33% après 15 jours, et 80 % après 1 mois. - avec 3 plomb : 80 % en 5 jours. - Les canards qui ne meurent pas pondent d'autant moins d'œufs qu'ils ont ingéré de plomb, avec des coquilles plus fines.

⁴ Etude INRA/ENSAIA à Verdun dans le cadre d'un programme LIFE) + travail/Thèse de Jean Paul Amat sur les Polémosylvofacies qui n'a cependant pas porté sur les aspects écotoxicologiques...

Les champignons sont un facteur de bio magnification du transfert des polluants qui pourrait avoir été très sous-estimé. En particulier ils pourraient accélérer le transfert de métaux tels que le mercure vers les arbres et certains animaux (dont les sangliers).

Risques liés au vieillissement des munitions abandonnées ou non explosées

Ces munitions sont une source potentiellement durable de diffusion de toxiques et de polluants dans l'environnement. Le risque et le danger d'exposition de l'homme et de l'Environnement à ces toxiques augmente avec le temps.

Depuis 1946, des états, organisations, pêcheurs ou ONG alertent périodiquement sur la gravité de ce risque, mais il n'existe toujours pas de stratégies commune ni consensuelle concernant les impacts, la connaissance, le suivi, la gestion et le devenir des munitions cachées, perdues, et des stocks considérables d'obus et munitions dispersés dans l'environnement, mais encore potentiellement actifs pour des décennies, voire des siècles lorsque conservés à l'abri de l'air et de la corrosion.

Dans la plupart des pays européens des engins de guerre non explosés (hors mines terrestres) mais toujours en état de fonctionnement sont quotidiennement mis à jour ou détectés... Ils causent régulièrement la mort ou des blessures corporelles par perforation, amputation, arrachement ou effet de choc, mais aussi surdité, cécité, graves brûlures, sans parler du traumatisme psychologique. Au Kosovo, 2/3 des victimes des engins non exposés sont des enfants. Au Cambodge, les enfants sont 3 fois plus victimes d'engins non explosés que de mines ! Obus, mortiers, grenades, roquettes, bombes et "sous-munitions" issues des armes à sous-munitions restent une menace permanente, même des décennies après les conflits. Localement, jusqu'à 1/3 des bombes du type cluster ou "bombelettes" sont encore actives. Sur certains terrains « mous » (vases, tourbes, boue, sédiments, zones humides) de nombreux engins n'ont pas explosé (jusqu'à 80 % sur certains sites de 14-18). Dans les vases froides et peu oxygénées ou à grande profondeur les munitions et certains agents chimiques peuvent se conserver bien plus longtemps qu'exposées à l'air ou en sub-surface, ce qui ne signifie pas qu'elles perdent de leur toxicité. Dans l'ex-URSS qui a beaucoup contribué à la course aux armements lors de la guerre froide, les risques pour l'environnement et de perte de la "mémoire des faits" sont élevés, y compris concernant les armes nucléaires.

L'acide picrique⁵ :

L'**acide picrique** ou **acide carbo-azotique** (ou mélinite) est le terme commun pour le composé chimique **2,4,6-trinitrophénol**, $(\text{NO}_2)_3\text{C}_6\text{H}_2\text{-OH}$.

Les impacts globaux de l'acide picrique sur l'environnement (champignons, flore, faune, bactéries..) ne semblent pas avoir été très étudiés. Cet acide est le principal explosif (mélinite) des millions d'obus non explosés de la première guerre mondiale, pour partie récupérées après guerre, mais souvent immergées en mer. Il est susceptible de contaminer l'environnement quand ces obus sont suffisamment corrodés. Outre le risque toxique et écotoxique, existe un risque d'explosion suite à la formation de picrates. Or de l'acide picrique peut être présent dans des armes chimiques non explosées ou dans des munitions stockées à proximité de ces dernières.

⁵ <http://www.micromega-hatier.com/securit/lire.asp?ID=8>

Bioremédiation

Aussi appelée « Bio dépollution » ou « Bio dégradation⁶ » est l'utilisation des capacités catalytiques des micro-organismes vivants (bactéries ou champignons filamenteux) pour éliminer un polluant.

Phyto-dépollution des matières explosives⁷

Plantes agronomiques

Grâce à leurs caractéristiques de croissance et leur production importante de biomasse, les plantes agronomiques, à l'exception du riz, sont a priori bien adaptées aux sites non lagunaires contaminés où la contamination est disséminée. C'est le cas des terrains d'essais militaires contaminés. Leur utilisation peut être envisagée dans les lagunes mais un assèchement préalable est indispensable. La culture de riz, par contre, ne nécessite pas cette étape car le riz peut pousser sur des zones inondées. Le choix des plantes doit également être orienté en fonction de leur capacité à tolérer de fortes concentrations en explosifs et de leur capacité à "épurer" le sol, quels que soient les mécanismes mis en jeu. Dans le cas de polluants organiques comme les explosifs, le principe le plus économique pour réaliser la phyto-dépollution est de favoriser l'absorption de grandes quantités de polluant et, secondairement, leur transformation éventuelle en composés non toxiques pour l'environnement. Dans ce cas, le procédé ne nécessite pas de traitement ultérieur et diminue les risques de dispersion dans l'environnement. Si la biotransformation n'a pas lieu, les plantes peuvent être récoltées et incinérées pour détruire l'agent toxique. Il est donc essentiel d'étudier la tolérance des plantes aux explosifs, mais aussi leur capacité à accumuler ces explosifs et le devenir des explosifs dans la plante.

Plantes Hélophytes⁸

Les plantes agronomiques se sont révélées efficaces pour concentrer les explosifs mais elles ne sont pas toujours adaptées au type de sites contaminés. Dans le cas d'une contamination due au lagunage des eaux usées d'usines de production d'explosifs, le riz est adapté mais d'autres plantes lacustres connues pour leur capacité à épurer des systèmes hydriques peuvent être envisagées.

Les plantes lacustres testées dans cette première expérimentation sont la massette (*Typha latifolia*), le scirpe lacustre (*Scirpus lacustris*), l'iris d'eau (*Iris pseudoacorus*), le phalaris roseau (*Phalaris arundinacea*), le roseau (*Phragmites communis*) et le carex (*Carex riparia*). Ces plantes ont la capacité de croître dans des conditions correspondant à celles retrouvées dans les lagunes contaminées. Elles sont particulièrement adaptées à des milieux de transition entre le terrestre et l'aquatique. Elles couvrent parfois de vastes marais peu profonds. Ces plantes sont les principales plantes utilisées dans les stations d'épuration par filtre végétal. Leurs capacités épuratoires n'ont toutefois été

⁶ http://www.un.org/french/peace/mine/destruction_technologies.shtml

⁷ (1) Thèse de doctorat « INSTITUT NATIONAL POLYTECHNIQUE DE TOULOUSE » École doctorale - Transfert, Dynamique des Fluides, Énergétique et Procédés Spécialité : Science des Agro ressources - Par Mireille VILA - Utilisation de plantes agronomiques et lacustres dans la dépollution des sols contaminés par le RDX et le TNT : approches en laboratoire - Soutenue le 15 décembre 2006

(2) <http://ethesis.inp-toulouse.fr/archive/00000469/>

⁸ Les plantes hélophytes sont des plantes adaptées aux terrains marécageux et aux tourbières.

mis en évidence que pour les nitrates et les phosphates mais pas pour les composés organiques (Ciria et al., 2005).⁹

Conclusion

Cette liste de vérification peut apporter une aide en vue d'un audit environnemental dans le cadre de l'action contre les mines qui pourrait, bien qu'incomplètement, apporter une aide au même audit dans le domaine de la pollution pyrotechnique sur le territoire Français.

⁹ Ciria MP, Solano ML and Soriano P (2005) Role of macrophytes *Typha latifolia* in a constructed wetland for wastewater treatment and assessment of its potential as a biomass fuel. *Biosystems Engineering* 92, 535-544

Liste de composés explosives

Composés organiques

[Acide picrique](#)

[Azoture de plomb](#)

[Fulminate de mercure](#)

[HMX](#)

[Heptanitrocubane](#)

[Hexanitrohexaazaisowurtzitane](#)

[Nitrocellulose](#)

[Nitroglycérine](#)

[Octanitrocubane](#)

[Peroxyde d'acétone](#) ou TATP

[PETN](#), composé du [Semtex](#),

[Phosphore blanc](#)

[RDX](#), composé du [C-4](#)

[Tétrazène](#)

[Trinitrotoluène](#) ou TNT

[Triiodure d'azote](#)

[Tétraazidométhane](#)

[2,4,6-Tris\(trinitrométhyl\)-1,3,5-triazine](#)

Combustibles

Nitrate

Perchlorate