

Trois questions à propos de la pollution pyrotechnique en France

Résumé En raison de son aspect multidimensionnel, la question de la pollution pyrotechnique en France est assez difficile à cerner. Sous forme de questions réponses, cet article présente quelques clés pour mieux comprendre la situation.

Mots-clés Munitions, explosifs, France, pollution, environnement, bilan.

Abstract Three questions about pyrotechnic pollution in France

Due to its multidimensional aspect, the issue of pyrotechnic pollution in France is quite difficult to define. In the form of questions and answers, here are some keys to better understand the situation.

Keywords Ammunition, explosives, France, pollution, environment, assessment.

Combien reste-t-il de munitions à neutraliser ?

Il n'est pas possible de répondre à cette question. Il existe de nombreuses catégories de munitions (grenades, obus, roquettes, bombes, etc.). À chaque catégorie correspond des centaines de modèles. Si on tient compte des époques, des nationalités, des disciplines (infanterie, artillerie, aviation...), ce sont en réalité des milliers d'objets différents qui ont été mis au point, fabriqués en séries et utilisés lors des combats. Les obus de DCA par exemple intègrent parfois des mécanismes d'horlogerie, des bombes allemandes sont munies de dispositifs électriques, etc. Chaque objet combine plusieurs sources de défaillances possibles. Elles peuvent être mécaniques au niveau du système de mise à feu, ou chimiques dans la chaîne pyrotechnique. Les ratés de tirs peuvent aussi résulter de problèmes balistiques ou être la conséquence de facteurs humains... Dans ces conditions il est impossible

d'affecter un taux de dysfonctionnement global à un ensemble d'objets aussi différents les uns des autres. Par défaut, les chiffres de 10 % de munitions défectueuses et de 15 % de munitions abandonnées sans avoir été utilisées sont avancés. Ce ratio de 25 %, soit environ une munition sur quatre finissant délaissée sur le terrain après les conflits, ne semble pas incohérent. Il s'agit toutefois d'une approximation dont il faut user avec beaucoup de prudence.

Il y a ensuite un problème de comptabilité. On ne sait pas très bien combien de munitions ont été produites lors de chaque conflit. Pour les seuls obus de 14-18, on observe des écarts de plus de 60 % entre les principales études de référence (figure 1). On ne sait pas non plus combien de munitions ont été éliminées entre les deux guerres. Des données parcellaires attestent d'activités industrielles soutenues. L'usine Pickett & Fils de Dannes-Camiers (Pas-de-Calais), avec une capacité de destruction de 1 000 tonnes par semaine aurait contribué,



Figure 1 - Fabrication des obus de 75 mm durant la Première Guerre mondiale. © Galica.bnf.fr/Bibliothèque nationale de France.

à elle seule, à l'élimination de près de 110 000 tonnes de munitions au cours des années 1920. À la même époque, la société Clere & Schwander aurait assuré la destruction de 1,5 million d'obus chimiques à Spincourt (Meuse). Malgré ces exemples, il n'existe aucun bilan global de ces activités avant 1945. Et le véritable modèle de dispersion sur le terrain reste inconnu...

La seule vraie certitude est que le différentiel estimé entre ce qui a été abandonné sur place et ce qui a été éliminé à ce jour se chiffre encore par millions d'objets de toutes natures.

Quelles sont les conséquences de la pollution pyrotechnique sur l'environnement ?

Un explosif peut se disperser dans l'environnement de différentes manières.

Si tout se passe normalement, en explosant, l'explosif va brutalement se transformer en gaz et être restitué à l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau, d'hydrogène, d'oxydes de carbone, d'oxydes d'azote, etc. (figure 2). Ces gaz seront accompagnés de quelques particules macroscopiques d'explosifs imbrulés. Pour le TNT, cette fraction représente environ 0,1 % de la masse initiale. À proximité du point d'explosion, la pollution de l'air sera immédiate mais localisée. Les sols ne seront atteints que par une quantité limitée de résidus explosifs finement dispersés. C'est le cas le moins impactant pour l'environnement.

Si l'énergie délivrée par l'amorçage n'est pas assez forte, l'explosif peut ne détoner que partiellement. C'est un cas fréquemment observé lors d'explosions accidentelles de stocks de munitions : plusieurs engins explosent ensemble, par sympathie, mais certains d'entre eux ne reçoivent pas assez d'énergie pour se décomposer convenablement. On appelle ces situations des « explosions partielles » ou des « détonations de bas ordre ». Les munitions concernées se disloquent. Une partie de leurs chargements s'éparpille en fragments centimétriques et des morceaux d'explosifs se retrouvent alors directement mélangés à la terre : c'est le scénario de pollution le plus défavorable.

Lorsque qu'une munition n'explose pas après avoir été tirée, ou lorsqu'elle est simplement abandonnée sur le terrain, la mobilité de l'explosif vers l'environnement va dépendre en premier lieu de la vitesse de décomposition de son contenant. Une fois libérées dans le sol, les substances explosives vont évoluer selon des modalités de déplacement et de transformation qui leur sont propres.

Les chlorates ou perchlorates utilisés dans la fabrication de certains explosifs sont réputés très solubles dans l'eau (> 100 g/l). Ils ne sont que très peu retenus ou absorbés par les minéraux et les substances organiques des sols. Libérés de leurs enveloppes, les explosifs chloratés/perchloratés sont potentiellement parmi les plus aptes à migrer par ruissellement vers les cours d'eau et les réserves aquifères. Ils ont souvent été employés pour le chargement de munitions



Figure 2 - Mai 2021 : destruction contrôlée sur la plaine d'Alsace de 400 kg de munitions provenant des deux dernières guerres. © Sécurité civile – Déminage Colmar.

à grandes capacités et à enveloppes minces. Ils étaient stabilisés dans des mélanges à base de vaseline et/ou de paraffine (matrices hydrophobes). Les parois internes de ces engins étaient étanchéifiées avec du brai de houille. Il est donc difficile dans ces conditions de modéliser leurs scénarios de diffusion dans l'environnement et de quantifier leur contribution à la pollution de milieux souvent déjà fortement impactés par d'autres activités, industrielles ou agricoles.

Au cours de la Première Guerre mondiale, les industries françaises ont produit 103 459 tonnes d'explosifs chloratés et perchloratés, soit près de 10 % de la production nationale d'explosifs de guerre.

Le comportement des composés organonitrés tels que le trinitrophénol (mélinite) ou le trinitrotoluène (TNT) sont bien documentés. La plupart d'entre eux se dégradent lentement au fil d'interactions physico-chimiques et microbiologiques complexes et leurs sous-produits persistent longtemps dans le sol (voir tableau). La mélinite en particulier est caractérisée par une solubilité dans l'eau (14 g/l à 20°) et une mobilité plus élevées que celles des autres nitrés aromatiques dans l'environnement. Le TNT pour sa part à une solubilité dans l'eau beaucoup plus faible (101,5 mg/l à 25°) et une persistance plus longue. Soumis à des processus d'adsorption, il est nettement moins mobile dans les sols à forte teneur en matière organique. Globalement, il se décompose en surface sous l'action de la lumière (photolyse), puis dans les sols par réduction chimique et par biodégradation, en fonction des combinaisons de microfaunes et de microflore présentes dans la matière organique. Sous certaines conditions, les plantes aquatiques et terrestres sont en capacité d'absorber et de métaboliser le TNT avec des effets de bioaccumulation relativement limités, principalement concentrés au niveau des systèmes racinaires. Le TNT et ses métabolites atteignent parfois les parties supérieures de certains végétaux.

L'Allemagne a généralisé l'emploi du TNT dans l'artillerie au cours de la Première Guerre mondiale. En 39-45, le Troisième Reich en a produit 800 000 tonnes.

Tableau - Classement de divers explosifs et de substances comburantes au regard de trois caractéristiques physico-chimiques.

ClO₃⁻ : chlorates ; ClO₄⁻ : perchlorates ; DNT : dinitrotoluène ; HMX : octogène ; NC : nitrocellulose ; NG : nitroglycérine ; NO₃⁻ : nitrates ; RDX : hexogène ; TNP : trinitrophénol ; TNT : trinitrotoluène.

Sorption	ClO ₄ ⁻ < TNP < RDX < HMX < TNT < DNT
Solubilité	ClO ₄ ⁻ > ClO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻ > TNP > NG > HMX > RDX > DNT > TNT > NC
Persistance	NC > ClO ₄ ⁻ > ClO ₃ ⁻ > NO ₃ ⁻ > HMX > RDX > TNP > DNT > TNT

Certains types d'explosifs ne sont présents dans les munitions qu'en très faibles quantités. C'est le cas des explosifs primaires situés dans les détonateurs des chaînes de mise à feu. Au cours de la Première Guerre mondiale, les amorçages français faisaient appel au fulminate de mercure ; chacun d'entre eux en contenait deux grammes.

En explosant, le fulminate de mercure se transforme en monoxyde de carbone, en azote, et surtout en mercure élémentaire qui, après avoir été vaporisé dans l'atmosphère à haute température, retombe au sol. Lors de chaque explosion, les obus français ont ainsi théoriquement « vectorisé » 0,705 g de mercure sur le champ de bataille, soit environ un litre de métal pour 20 000 tirs. Dans la réalité, ce mercure est divisé et dispersé en fractions infimes sur des surfaces kilométriques. Il existe un lien entre les combats de 14-18 et le mercure, mais il est difficile à quantifier et à démontrer sur le terrain car les émissions de mercure dans l'environnement ont des origines diverses qui se superposent. Les émissions imputables aux faits de guerres s'additionnent aux autres sources. Des taux anormaux de mercure ont toutefois été relevés et des liens de causalité ont été démontrés sur le terrain, au droit de certains sites industriels d'époque, dans certaines buttes de tirs d'exercice et à proximité d'anciennes installations de démantèlement de munitions.

Ces quelques exemples choisis attestent encore une fois du caractère protéiforme et excessivement complexe de la pollution pyrotechnique. Il est toutefois intéressant de noter qu'une grande majorité des scénarios de diffusions adoptent des cinétiques lentes à très lentes. Il s'agit d'un facteur globalement plutôt favorable à la gestion au long court de la problématique.

Pourquoi ne retire-t-on pas plus vite ces munitions du sol ?

L'élimination des munitions dispersées sur le terrain suppose évidemment qu'elles soient préalablement repérées. Chaque année, une grande partie d'entre elles sont simplement découvertes en surface par des promeneurs ou détérées fortuitement lors de travaux. Elles sont alors éliminées au cas par cas, selon des procédures adaptées au niveau de risque qu'elles représentent. Le service de déminage de la Sécurité civile réalise annuellement plus de 10 000 opérations de ce type sur le territoire national.

Dans d'autres cas, ces munitions sont localisées au cours d'opérations de recherches préventives. Les techniques mises en œuvre pour ces travaux reposent sur des technologies et des procédés géophysiques variés, majoritairement centrés sur la détection du métal.

Certains systèmes comme les détecteurs électromagnétiques sont dits actifs. Une bobine émettrice produit un champ magnétique qui provoque des courants de Foucault dans les métaux rencontrés. Une seconde bobine capte en retour la magnétisation rémanente de ces métaux qui sera convertie en signaux qui pourront être interprétés.

D'autres systèmes, dits passifs, comme les magnétomètres, détectent directement les perturbations que provoquent les métaux ferreux dans le champ magnétique terrestre. Ils sont plus efficaces que les détecteurs actifs pour des recherches en profondeur.

La performance de ces différents systèmes de détection dépend étroitement de six variables : la forme géométrique

de l'objet recherché, sa masse, sa position dans le sol (verticale, horizontale...), la nature de son métal (ferreux, non ferreux...), sa profondeur d'enfouissement, et la nature du sol dans lequel il est enterré (conductivité). À ces variables de base s'additionnent d'autres paramètres tels que la densité de la pollution ferromagnétique, c'est-à-dire le nombre d'anomalies par unité de sol exploré, ou le niveau d'ionisation spécifique de chaque objet lié à son stade de corrosion. On comprend bien, en tenant compte de toutes ces données, qu'il n'est pas possible de garantir un résultat constant en matière de recherche ferromagnétique. Les opérations de détection permettent d'éliminer une grande part des objets recherchés, mais pas tous. En fonction des circonstances, certains échappent aux contrôles.

D'autres technologies électromagnétiques telles que le géoradar (GPR, « ground penetrating radar ») peuvent être déployées en substitution ou en complément des méthodes classiques. La superposition des technologies permet d'améliorer le résultat des recherches, mais on se heurte alors à des problèmes de coûts qui peuvent rapidement devenir prohibitifs.

Sur le terrain, la solution passe par le déploiement des bonnes méthodes et l'utilisation de bons outils aux bons endroits. Pour ce qui concerne les recherches préventives, il est nécessaire d'objectiver les risques. Les analyses historiques et l'exploitation de données cartographiques (type LiDAR par exemple) permettent en général de savoir ce que l'on risque de trouver et sur quels périmètres. En fonction des enjeux et du résultat des analyses de risque, il est ensuite préconisé de bâtir une stratégie modulée autour de trois axes : diligenter des recherches par détecteurs là où elles sont nécessaires, recommander aux différents acteurs économiques des pratiques de moindres risques (méthodes moins dangereuses, outils moins intrusifs, etc.), et sensibiliser tous les opérateurs aux risques que représentent les engins de guerre... Il n'est pas inutile de rappeler, une fois encore, que trois accidents sur quatre sont causés par des imprudences caractérisées, bien après le stade de la découverte.

Les moyens de détection ferromagnétiques n'ont commencé à apparaître véritablement sur le terrain qu'à la toute fin de la Seconde Guerre mondiale. Les travaux de remédiation de l'entre-deux-guerres se sont faits sans eux. Après les armistices, des millions d'hectares impactés ont été rendus à leurs activités premières sans être entièrement dépollués. Au cours de ces dernières décennies, les techniques de recherche et de détection ont fait des progrès très significatifs, mais compte tenu des aspects élargis et multifactoriels de la pollution pyrotechnique en France, il n'existe malheureusement pas de solution immédiate et globale à mettre en face de ce problème. Nous sommes donc contraints, sur un temps long, à une gestion pragmatique et attentive des effets retardés de nos guerres...

Eric SCHNELL,

Ingénieur principal, chef démineur, Direction générale de la Sécurité civile et de la gestion des crises, Groupement d'Intervention du déminage, Centre de déminage de Colmar.

* eric.schnell@interieur.gouv.fr