

Les effets retard des guerres du XX^e siècle

Regard sur l'état de la pollution pyrotechnique en France

Résumé Les faits de guerre génèrent une forme de pollution spécifique, hétérogène et complexe. En France, les conséquences de plusieurs conflits se sont superposées. En 2020, le service de déminage de la Sécurité civile a effectué 12 235 opérations, concernant essentiellement des munitions de la Première et de la Seconde Guerre mondiale. Les objets pyrotechniques dispersés sont nombreux et dans la grande majorité des cas, difficiles à localiser. Ils vieillissent et se dégradent selon des scénarios très variables. Les questions de dépollution et de déminage relèvent d'un champ d'activités pluridimensionnel. Il existe une multitude de facteurs combinés et de situations différentes sur le terrain, et à chaque cas correspond une ou plusieurs nuisances potentielles.

Mots-clés **Déminage, pollution pyrotechnique, explosifs de guerre, obus, bombardements, chargements chimiques, vieillissement des munitions, zones rouges.**

Abstract **The delayed effects of the wars of the 20th century: a look at the state of pyrotechnic pollution in France**
Acts of war generate a specific, heterogeneous and complex form of pollution. In France, the consequences of several conflicts overlapped. In 2020, the Civil Security Mine Clearance Service carried out 12,235 operations, mainly concerning munitions from the First and Second World Wars. Scattered pyrotechnic objects are numerous and in the vast majority of cases difficult to trace. They age and degrade according to highly variable scenarios. Depollution and demining issues fall within a multidimensional field of activities. There are a multitude of combined factors and different situations on the site and each case corresponds to one or more potential nuisances.

Keywords **Demining, pyrotechnic pollution, war explosives, shells, bombardments, chemical loads, aging of ammunition, red zones.**

Les conflits armés de l'ère moderne sont des guerres d'industries. À partir de la seconde moitié du XIX^e siècle, l'homme, en tant que valeur élémentaire du champ de bataille, voit son rôle se transformer et progressivement se dissoudre dans un environnement technologique de plus en plus dense. Le premier conflit mondial symbolise cette transition. En 1914, les codes traditionnels de la guerre viennent littéralement s'éventrer sur la puissance des armes nouvelles. Les drones, les satellites de renseignement, les missiles hypersoniques sont les marques actuelles de cette course née il y a plus d'un siècle et demi, et qui se poursuit...

Guerre d'industrie signifie guerre d'énergie, et par voie de conséquence, guerre de la chimie. Dès le milieu du XVII^e siècle, la question de l'approvisionnement en azote fut une préoccupation majeure pour de nombreux pays. Sans nitrate de potassium, c'est-à-dire sans salpêtre, la fabrication de la poudre noire était impossible. À cette époque, la France était étroitement dépendante du salpêtre des Indes anglaises. À l'instar de pays tels que la Suède ou la Prusse, le Roi Louis XVI exigea en 1775 la création d'une filière de production nationale de salpêtre. Un an plus tard, les « nitrières royales » voyaient le jour. Ces mesures n'empêchèrent toutefois pas la pénurie de poudre noire sous la Révolution. C'est à cette période que se produisit ce qui demeure encore aujourd'hui comme la plus grande catastrophe industrielle en France (après la catastrophe minière de Courrière en 1906) : le 31 août 1794 à 7 h 15, la Poudrerie de Grenelle près de Paris, qui centralisait les réserves révolutionnaires, explosa. Selon les sources, entre 30 et 150 tonnes de poudre noire déflagrèrent, entraînant le décès d'au moins 600 personnes.

Au cours de la Première Guerre mondiale, la question stratégique de l'azote, et plus largement de la chimie des explosifs, prit une autre forme. Il était indispensable de disposer de ressources suffisantes en ammoniac afin de répondre à l'accroissement considérable de la demande en explosifs. Cette bataille fut gagnée par l'industrie allemande qui, grâce au procédé Haber Bosch, permit de compenser le blocus maritime qu'elle subissait sur les importations de nitrate du Chili. Cette guerre dans la guerre fut, elle aussi, accompagnée ou suivie de catastrophes industrielles exceptionnelles. Au Canada, le 6 décembre 1917, le cargo français Mont Blanc, qui transportait vers l'Europe 2 400 tonnes d'explosifs, pulvérisa accidentellement le port et la ville d'Halifax en provoquant la mort de près de 2 000 personnes. En Allemagne, le 21 septembre 1921, ce furent 450 tonnes d'un stock de sulfate d'ammonium et de nitrate d'ammonium mélangés qui furent à l'origine de la tristement célèbre destruction du site industriel d'Oppau ; l'explosion fit 561 morts.

Les progrès industriels ont de tout temps été accompagnés d'une part d'effets délétères. Il s'agit de la fameuse balance « bénéfiques/risques ». Sous l'angle physico-chimique, l'inconvénient majeur de la pyrotechnie réside dans le fait que les risques sont souvent de même nature que les bénéfices et qu'ils se mesurent sur une même échelle de force. À quelques rares exceptions près, si une substance pyrotechnique ne se transforme pas au bon endroit et au bon moment, si un projectile n'explose pas en temps de guerre par exemple, son potentiel vulnérant reste intact une fois la paix revenue. Grenelle, Halifax, Oppau sont quelques noms choisis sur une longue liste de catastrophes exceptionnelles. Ils représentent

quelques exemples de libérations instantanées d'énergie considérable. Mais indépendamment de ces événements spectaculaires, il est aussi intéressant de se poser la question de ce qu'il advient des potentiels énergétiques dispersés. Que deviennent les objets pyrotechniques isolés qui n'ont pas rempli leur fonction ? Quel destin ont les molécules et les énergies excédentaires ? Celles qui, pour de multiples raisons, ne se sont pas exprimées en temps voulu et qui entraînent des désordres secondaires, latents et parfois complexes ?

Une forme de pollution spécifique et probablement unique dans l'histoire des guerres modernes

Les faits de guerre génèrent une forme de pollution spécifique, hétérogène et complexe. Sur Internet, les mots clés « pollution pyrotechnique » ou « déminage » conduisent à un champ thématique extrêmement vaste : accidents, faits divers, menaces environnementales, immersions en mer, munitions périmées, marquage d'eau potable, bilans carbone de conflits récents..., les articles ne manquent pas. Évidemment, notre pays qui a supporté sur son sol une grande part de l'intensité des combats du XX^e siècle est concerné par plusieurs de ces sujets.

Mais avant tout, un constat s'impose. La France représente probablement un cas unique dans l'histoire des guerres modernes. En effet, ce sont les conséquences de deux conflits majeurs qui se sont superposés sur notre territoire. Ces conflits ont chacun fait appel à un éventail d'armes considérable. Sans entrer dans un inventaire détaillé, on rappellera pour mémoire : les centaines de millions d'obus de 14-18, dont une partie était chargée en gaz de combat (*figure 1*) ;

les bombardement aériens massifs de 39-45 visant les grandes villes, les industries et les infrastructures de transport (*figure 2*) ; l'emploi des premières sous-munitions ; le minage systématique des espaces maritimes, des côtes, puis du territoire dans son ensemble ; la mise en œuvre des premiers missiles ; et finalement les millions d'engins explosifs et de pièges divers, parfois de très petites tailles, cachés, enfouis, ou simplement abandonnés sur le terrain. Mis à part la Belgique, aucun autre pays européen, sur la même période de référence, n'a eu à subir sur son sol un tel cumul d'armes différentes et dans de telles proportions. En matière de comptabilité sinistre, les 7 millions de tonnes de bombes de la guerre du Vietnam font souvent référence. Ce chiffre, si terrible qu'il soit, se situe pourtant bien en deçà des 15 millions de tonnes de munitions d'artillerie employées au cours de la seule Première Guerre mondiale, et dont la majeure partie a été tirée sur le sol français.

Un autre aspect majeur de la problématique relève de considérations géographiques et économiques. Les guerres européennes du XX^e siècle furent des conflagrations générales. En France, aucun territoire ne fut épargné. Schématiquement, la moitié nord du pays fut bien plus atteinte que la moitié sud, mais chaque département français a, dans la Grande histoire, son histoire particulière. Les combats se sont souvent déroulés dans des régions où les activités humaines étaient nombreuses et variées. Pour des motifs à la fois économiques et techniques, à la fin des hostilités, les reprises d'activités eurent lieu sur des terres faiblement ou partiellement dépolluées. Ces espaces, sur lesquels la densité de population a continué à croître, représentent aujourd'hui des enjeux économiques multiples en continues mutations. L'impact des guerres se mesure moins aux tonnages d'explosifs



Figure 1 - Guerre 14-18 : les obus sortent du four. © Galica.bnf.fr/Bibliothèque nationale de France.



Figure 2 - Le Havre, déblaiement après les bombardements de la Seconde Guerre mondiale. © Galica.bnf.fr/Bibliothèque municipale du Havre.

ou de munitions employés qu'aux dynamiques sociales, économiques et écologiques des territoires sur lesquels elles se déroulent. De ce point de vue, l'Europe, et en particulier la France, ont été très fortement et durablement impactées.

Évolutions sociétales et redéfinition des enjeux

La pollution pyrotechnique du territoire a tout d'abord été perçue sous l'angle des risques directs qu'elle faisait courir sur les populations. Après-guerre, les accidents consécutifs au fonctionnement intempestif de munitions furent nombreux. Dans les années cinquante, on comptait en France, en moyenne, un accident grave par semaine. En 1975, on enregistra vingt-huit accidents graves pour un bilan total de douze morts (dont sept enfants) et trente-quatre blessés. Les statistiques n'ont régressé que très lentement jusqu'à atteindre leur niveau actuel. De nos jours, on déplore une dizaine d'accidents par an, faisant en moyenne une douzaine de victimes, dont un tiers de cas mortels. Dans cette accidentologie, il est intéressant de noter que trois accidents sur quatre sont le fait d'imprudences caractérisées et de fautes de comportement graves commises dans un cadre généralement privé (manipulations hasardeuses après découvertes, tentatives de démontage, essais de mise à feu, etc.). Les accidents fortuits dans un contexte professionnel sont pour leur part minoritaires.

Dans les années 1980, une autre conséquence de la pollution pyrotechnique a commencé à être prise en compte dans certains secteurs d'activités. Dans le domaine des travaux publics en particulier, le risque économique que représentent les interruptions de chantiers en cas de découverte fortuite de restes explosifs de guerre a cherché à être mieux maîtrisé.

Les mises à jour de grosses bombes d'aviation par exemple peuvent entraîner des évacuations et une paralysie temporaire de vastes zones urbaines (20 000 personnes déplacées à Nantes en 2006). Il en va de même pour les stocks de munitions abandonnées qui, redécouverts, peuvent par endroit provoquer des retards de plusieurs mois sur les chantiers. Désormais, face à ces aléas spécifiques, de plus en plus de porteurs de projets systématisent les études historiques et le contrôle préventif des sols en amont de leurs phases travaux.

Au début des années 2000, c'est l'aspect environnemental qui a commencé à mobiliser les attentions. Les munitions dispersées ne sont pas que des réserves d'énergie au sens physique. Elles représentent aussi des réservoirs chimiques dont les cinétiques d'évolutions sont extrêmement variables et très interdépendantes des milieux dans lesquels ils se trouvent. Un objet pyrotechnique est généralement constitué d'un couple contenu-contenant sur lequel il est intéressant de se pencher.

Le couple contenu-contenant : une combinaison d'incertitudes

Du point de vue des contenus, les plus courants sont des chargements explosifs. Ce sont des produits très divers pour la plupart basés sur la chimie organique de l'azote. Il s'agit de composés nitroaromatiques tels que le trinitrotoluène (TNT) ou le trinitrophénol (mélinite), de nitramines telles que le tétryl, de polymères nitrés tels que la nitrocellulose. Les agents comburants sont des nitrates d'ammonium et de potassium, des chlorates et des perchlorates... Ces chargements, purs ou en mélanges, peuvent être introduits dans les munitions

à l'état pulvérulent ou au contraire à l'état fondu. En refroidissant, ils prennent alors la forme de blocs compacts. Toutes ces substances présentent du point de vue de leurs structures et de leurs textures des caractéristiques physico-chimiques très variées. Parmi les composés nitroaromatiques, le trinitrophénol à l'état pulvérulent est connu pour être très soluble dans l'eau et donc très mobile dans l'environnement. À l'inverse, les blocs coulés de trinitrotoluène qui sont retrouvés en pleine terre après plusieurs décennies présentent des états de stabilité physique et chimique remarquables, y compris dans des milieux complètement saturés en eau.

Les chargements ne sont pas exclusivement explosifs. Toute une cohorte d'autres produits chimiques ont été introduits dans les munitions en raison de leurs effets particuliers. Certains sont fumigènes, comme l'hexachlorohexane ou le trioxyde de soufre en mélange. D'autres sont toxiques, comme le sulfure d'éthyle dichloré (la tristement célèbre ypérite) ou l'oxychlorure de carbone (phosgène). Il existe également des agents incendiaires tels que le phosphore... Seuls ceux qui entrent dans le registre des produits pyrotechniques contiennent un potentiel énergétique rapide réellement significatif, mais tous représentent, à des degrés divers, un potentiel concret de nuisances chimiques sur leurs milieux. Du côté des contenants, la variabilité est toute aussi grande. Les enveloppes sont fabriquées à partir de métaux divers, d'alliages, avec présence ou non de métalloïdes toxiques. Leurs épaisseurs peuvent être comprises entre quelques dixièmes de millimètre et plusieurs centimètres. Certaines architectures de munitions font appel à des combinaisons de matériaux tels que le plomb ou le verre, réputés pour leur état chimique stable et peu altérable dans le temps. Ces enveloppes vont se dégrader selon des modèles différents mais connus et bien documentés. Un corps d'obus monobloc en fonte aciérée par exemple résistera à la corrosion pendant des siècles, alors qu'au même endroit, un système de mise à feu en alliage de zinc se transformera en poussière en quelques décennies. D'innombrables facteurs externes, électriques, chimiques, ou même biologiques, vont faire varier les scénarios de vieillissement. Parmi ces facteurs, on peut noter : l'hygrométrie, le PH, la température, la résistivité des sols, les caractéristiques des espèces ioniques dissoutes dans l'eau des milieux (les carbonates en particulier), l'activité des micro-organismes (qui font varier le CO₂ disponible), etc. Ils jouent tous un rôle dans les multiples déclinaisons possibles de décompositions de ces objets pyrotechniques dispersés.

La perception des cinétiques de désintégration des munitions peut être approchée concrètement au travers de l'exemple de l'obus français de 75 mm. Il fut le plus fabriqué du côté des alliés au cours de la Première Guerre. Son enveloppe en acier, qui mesure environ 1 cm d'épaisseur, mettra, dans un sol profond, homogène, non perturbé par l'activité humaine, entre sept et huit siècles pour perdre son intégrité. Le même engin en surface, à moitié découvert, en conditions défavorables dans un milieu perturbé, acide, humide et aéré, sera percé par la corrosion en à peine plus d'un siècle.

D'autres variables encore viennent malheureusement alourdir cette addition déjà longue d'interférents. Les substances pyrotechniques ne se décomposent pas toutes selon les mêmes régimes. Certaines brûlent, d'autres déflagrent ou détonnent en générant des produits de transformation très divers. Accidentellement, lors du dysfonctionnement d'une chaîne d'amorçage par exemple, un objet destiné à détonner peut n'atteindre qu'un régime de déflagration

ou de détonation incomplète. Là où la matière solide aurait dû se convertir en gaz et en une énergie redoutable, à plusieurs milliers de mètres par seconde, elle ne va finalement se transformer que partiellement, plus lentement, à quelques centaines de mètres par seconde en dispersant des fragments d'explosifs intacts dans le milieu.

Un travail de recherche fastidieux, inscrit dans la durée

Mais pour en revenir à l'aspect plus concret de la dépollution de notre territoire, qu'en est-il aujourd'hui ? Au risque d'une divergence avec le point de vue des historiens, les guerres du XX^e siècle ne sont pas finies. Au rythme de 400 à 500 tonnes par an, le sol et le sous-sol français ne cessent de régurgiter les stigmates de conflits qui au sens technique du terme sont bien loin d'être terminés. En 2020, le service de déminage de la Sécurité civile a effectué 12 235 opérations sur le territoire national, concernant essentiellement des munitions de la Première et de la Seconde Guerre mondiale. Autre source d'étonnement : le nombre de demandes d'interventions ne décroît que très faiblement au fil du temps. Au cours des dix dernières années, les tonnages annuels d'engins éliminés sont restés sensiblement stables.

Pourquoi une telle rémanence ? Une réponse facile serait d'affirmer que peu de choses ont été réalisées en matière de dépollution pyrotechnique à la fin des deux guerres et que le problème n'a pas été porté à la hauteur des enjeux qu'il représentait. Toutes les études historiques sérieuses, corroborées par des archives récemment rendues publiques, démontrent l'inverse. Les périodes de reconstruction ont été économiquement dynamiques et accompagnées de dispositions exceptionnelles en matière de déminage, non pas en raison d'un choix politique particulier, mais parce que cela relevait d'une absolue nécessité. Il fallait remettre le pays en situation de produire. Entre les deux guerres, le dispositif français s'est appuyé sur des moyens privés surveillés et coordonnés par l'autorité militaire. À partir de 1945, l'État a repris à sa charge l'intégralité des opérations, se dotant de moyens spécialisés. Ce n'est pas en direction d'un déficit de moyens qu'il faut rechercher les causes de la décroissance très lente de cette pollution.

Le tout premier facteur qui explique la rémanence de la pollution pyrotechnique en France est quantitatif. Les objets pyrotechniques dispersés sur le terrain sont nombreux et dans la grande majorité des cas, difficiles à localiser. Selon l'étude Prentis de 1937, pour le seul conflit de 14-18, 1 389 millions d'obus, toutes catégories confondues, auraient été tirés sur l'ensemble des fronts. Ce chiffre a été révisé depuis et les historiens s'accordent aujourd'hui autour du chiffre d'un milliard. À lui seul, le territoire français aurait « accueilli » les deux tiers de ces engins. Il est couramment admis que 10 % d'entre eux n'auraient pas fonctionné et qu'une autre fraction, de 10 à 15 %, aurait été purement et simplement abandonnée sur le terrain sans avoir été utilisée. Ces valeurs relèvent de l'approximation et ne reposent sur aucune étude sérieusement documentée. Compte tenu du nombre de systèmes, de modèles pyrotechniques produits et de la liste de tous leurs disfonctionnements imaginables, la marge d'erreur de cet indice de pollution varie probablement du simple au double. Quoiqu'il en soit, ce sont bien des millions d'engins explosifs de toute nature qui attendent encore d'être éliminés.



Figure 3 - Première Guerre : machine utilisée pour remettre en état les sols ravagés par les obus. © Galica.bnf.fr/Bibliothèque nationale de France.

Un regard dirigé vers le sol nous permet d'appréhender une autre dimension du problème. Les munitions qui restent aujourd'hui à traiter sont difficiles à localiser pour de multiples raisons. Tout d'abord, une grande partie d'entre elles se sont profondément enterrées. L'exemple des bombardements aériens est parlant. Au cours de la Seconde Guerre mondiale, plus de 600 000 tonnes de bombes ont été déversées sur la France. Ces bombes, larguées à haute altitude ou à grande vitesse par les avions, ont impacté le sol avec des énergies considérables. Celles qui n'ont pas explosé sont parfois descendues à des profondeurs surprenantes. Un document du Service de déminage de la Protection civile de 1971 indique que 60 % des bombes aériennes (de 250 kg et plus) sont retrouvées à plus de 4,5 mètres de profondeur. Dans le même registre, les obus d'artillerie pénètrent dans la terre en suivant, en moyenne, un cheminement de trois fois leur longueur. Ainsi, en terrain favorable, un obus de 155 mm mesurant soixante centimètres de long et pesant un peu plus de 40 kilos suivra un parcours de près de deux mètres dans le sol avant de s'immobiliser. Ces valeurs sont corroborées par les observations des archéologues qui retrouvent régulièrement ces engins lors de leurs travaux.

Il existe de nombreuses autres raisons qui expliquent l'enfouissement des munitions sur les zones de combats. Les pilonnages d'artillerie et les bombardements de toute nature ont contribué à de profondes modifications de la morphologie des sols. Pour la seule offensive allemande du printemps 1918 entre Cambrai et Saint-Quentin, 3,5 millions d'obus ont été tirés en cinq heures. Les cratères et les gerbes de terre se sont superposés et ont recouvert les munitions défectueuses. La guerre des « mines », qui consistait à placer des charges d'explosifs de plusieurs tonnes dans des galeries creusées

sous les tranchées ennemies, a également fortement marqué le paysage. En explosant, ces mines provoquaient des cratères de 10 à 90 mètres de diamètre, de 10 à 20 mètres de profondeur, et les déblais en conséquence. Plus loin, ce sont de gigantesques réseaux de tranchées qui ont labouré les sols. En Champagne-Ardenne, on estime que chaque kilomètre de front a généré 113 kilomètres de boyaux et de galeries diverses.

À l'armistice en novembre 1918, près de deux millions d'hectares sont entièrement dévastés. Des travaux titanesques vont alors être réalisés afin que les terres agricoles puissent être rendues à leur vocation première (figure 3). Le nivellement des surfaces va nécessiter, selon les endroits, entre 80 et 2 500 m³ de remblais rapportés à l'hectare. En 1925, 1,8 million d'hectares produisent à nouveau. Mais sous les cultures, en profondeur, les munitions intactes et les résidus pyrotechniques sont toujours là, mélangés à un enchevêtrement d'autres déchets militaires (éclats, fils de fer barbelés, pieux métalliques, blindages...). Là où les situations sont les plus inextricables, les terrains sont tout simplement laissés en l'état et inscrits au périmètre des « zones rouges ». En 1927, ces zones rouges représentent encore 48 820 hectares qui vont être majoritairement reboisés et confiés à l'administration des eaux et forêts. Détail intéressant : pendant des années, les travaux de récupération d'épaves et de métaux vont être interdits dans les zones rouges afin de protéger les plantations. Sur ces espaces peu fréquentés, les derniers indices de surface vont progressivement disparaître sous les herbes et la broussaille...

Dans une moindre mesure, les combats de 39-45 ont généré des scénarios d'enfouissements de même nature. Quelques décennies plus tard, entre 1955 et 1975, c'est le remembrement

général du territoire, cette fois, qui viendra gommer le paysage. Les haies sont arrachées, les talus sont arasés et les fossés sont comblés, avec souvent pour résultat une épaisseur de terre supplémentaire sur ces objets dispersés, au potentiel physico-chimique encombrant...

Une combinaison complexe de paramètres et quelques siècles de travail en perspective

Les questions de pollution pyrotechnique et de déminage relèvent d'un champ d'activités pluridimensionnel. L'approche « source, flux, cible », très usitée dans le domaine de l'analyse de risque, permet de résumer la problématique.

La source n'est pas unique ; elle présente un degré d'hétérogénéité exceptionnel par rapport à d'autres domaines de pollution. On note des variations importantes concernant la forme et la taille des objets, la composition et les potentiels physico-chimiques des contenus, le niveau de sensibilité des produits et les dangers associés. L'une des singularités de cette pollution est le caractère souvent « encapsulé » des éléments qui la composent. En raison de la cinétique de dégradation des enveloppes, les scénarios de libération des substances chimiques dans l'environnement s'inscrivent dans des temporalités aléatoires qui s'étendent parfois sur plusieurs siècles.

Le flux est tout aussi incertain ; il est étroitement dépendant de la variabilité des milieux. Il peut être solide, liquide et/ou gazeux comme dans le cas des munitions chimiques. Il peut suivre une cinétique rapide, voire quasi instantanée en cas d'explosion, ou au contraire relever de processus dilués, extrêmement lents si on se réfère à certains scénarios de pollution des sols. S'agissant en réalité d'un mélange de sources, on aura presque systématiquement une superposition de flux différents, potentiels ou réalisés, qui s'exprimeront selon leur propre mode de transit dans l'environnement.

Pour leur part, les cibles se partagent en quatre catégories classiques : les risques d'atteintes humaines, les risques d'atteintes aux biens, les risques économiques, et les risques sur l'environnement. Chacune de ces quatre catégories se décline elle-même en différents niveaux de dommages possibles, avérés ou pressentis...

En France, les activités de neutralisation et d'élimination des objets pyrotechniques sont regroupées sous les vocables de « déminage » ou de « dépollution pyrotechnique ». Ces appellations ne reflètent en réalité que très partiellement la diversité et la complexité d'un champ d'activité très élargi. Il existe une multitude de facteurs combinés et de situations différentes sur le terrain. À chaque cas correspond une ou plusieurs nuisances potentielles. Certaines sont identifiées, cernées et maîtrisées ; d'autres relèvent d'hypothèses ou d'incertitudes qui doivent encore être étudiées. La gestion de la pollution pyrotechnique repose donc sur une approche transversale. Elle nécessite une combinaison de ressources et de moyens variés tels que des capacités d'expertise pour la surveillance de l'évolution des objets pyrotechniques, le recours à des

procédés géophysiques et géomatiques pour la caractérisation des zones de risques, des capacités de sensibilisation et de formation des catégories sociales et socio-professionnelles potentiellement exposées, etc.

Au point de confluence de toutes ces actions se situent les acteurs chargés de l'élimination de la menace. Notre pays a le triste privilège d'avoir supporté des conflits qui furent parmi les plus durs de l'histoire. Il est également dans une position exceptionnelle en matière d'observation, d'analyse, de capitalisation d'expérience et de résilience. Les engins vieillissent, les connaissances scientifiques s'affinent, les exigences environnementales se renforcent, les attentes sociétales évoluent... Les 360 démineurs de la Sécurité civile qui ont en charge la dépollution du territoire national n'ont pas terminé leur guerre (figure 4). Ils s'adaptent en permanence à l'évolution de tous ces paramètres... et savent qu'ils ont encore devant eux plusieurs siècles de travail.



Figure 4 - Août 2020 : l'auteur en intervention sur un chantier dans la commune d'Ammertwiller (68).
© Sécurité civile – Déminage Colmar.

Bibliographie

- J. Akhavan, *The Chemistry of Explosives*, RSC Publishing, 1998.
- J. Calzia, *Les substances explosives et leurs nuisances*, Dunod, 1969.
- CGARM/DGA, *Les armes de la Grande Guerre – Histoire d'une révolution scientifique et industrielle*, Éditions Pierre de Taillac, 2018.
- J.-R. Duguet, *Les Explosifs primaires et les substances d'initiation*, Masson, 1984.
- Inspection Générale des Poudres, Auteur inconnu, *Historique de la fabrication des explosifs pendant la guerre*, non daté.
- M.-A. Fillion, *Évaluation du devenir et comportement environnemental d'une nouvelle formulation explosive insensible PAX48*, *Mémoire de l'Université du Québec*, 2020.
- D. Hubé et al., *Pyrotechniques, Explosifs & Propulseurs. Volet 1 : Historique, usages et comportement environnemental : état des connaissances*, BRGM, 2015 (non publié).
- T.F. Jenkins et al., *Characterization of explosives contamination at military firing ranges*, US Army Corps of Engineers, 2001.
- E. Nodot, *Détection et caractérisation d'objet anthropiques par méthodes géophysiques et en particulier par méthode magnétique*, Thèse de doctorat, Université de Strasbourg, 2014.
- Parc régional de réparation et d'entretien du matériel de Metz, *Récupération et désobusage sur le territoire de la 6^{ème} Région, Cahier des charges spéciales*, 1933.
- A. Passagez, *Les grands problèmes de paix et de guerre. L'azote et le pétrole*, Dechenne, 1924.
- A.M. Prentiss, *Chemicals in war, a treatise on chemical warfare*, McGraw-Hill Book Company Inc., 1937.
- T.L. Davis, *The chemistry of powder and explosives*, Angriff press, 1943.
- P. Taborelli et al., *Typologie et organisation spatiale des « polémo-formes » de la Grande Guerre révélées par l'outil LiDAR et les Plans directeurs. Application à la Champagne et à l'Argonne*, *Revue de géographie historique*, 10-11, 2017.
- D. Voldmann, *Le déminage de la France après 1945*, Odile Jacob, 1998.
- ADEME, *Guide des méthodes géophysiques pour la détection d'objets enfouis sur les sites pollués*, 2017.
- INRAP, *La géophysique : un outil à la disposition des archéologues*, 2017/2021, www.inrap.fr/la-geophysique-un-outil-la-disposition-des-archeologues-13426

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