Zeitschrift: Revue Militaire Suisse
Herausgeber: Association de la Revue Militaire Suisse
Band: 146 (2001)
Heft: 6-7

Artikel: Les défis technologique du déminage humanitaire
Autor: Défourneaux, Marc
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-346152

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Les défis technologique du déminage humanitaire

La Convention d'Ottawa bannissant les mines terrestres antipersonnel est entrée en vigueur le 1er mars 1999. Mais l'interdiction de poser de futures mines n'élimine pas celles déjà posées. Cette élimination représente un immense défi car, contrairement au déminage militaire qui vise à ouvrir des routes à la circulation ou à ouvrir des brèches à travers des champs de mines en cas de nécessité, le déminage humanitaire vise à restaurer le plein usage de vastes terrains agricoles ou d'habitation, ce avec une efficacité de déminage supérieure à 99,6%. A ce jour, une telle efficacité ne peut s'obtenir que par des méthodes manuelles reposant sur des détecteurs de métal et un sondage du sol. Ces méthodes sont extrêmement lentes et les mines les plus récentes échappent aux détecteurs de métaux, d'où l'urgence - contrariée par un manque de moyens - de pouvoir disposer sur le terrain de nouveaux matériels fondés sur les percées technologiques en cours.

Marc Défourneaux[1]

La politique et les réalités de terrain

Le 1er mars 1999 est entré en vigueur le traité bannissant l'emploi, la production et le transfert des mines antipersonnel, signé le 3 décembre 1997 à Ottawa. Quoique signé d'emblée par 121 pays, puis par quelques retardataires, ce traité laisse encore une bonne cinquantaine de non-signataires parmi lesquels les Etats-Unis, la Russie et la Chine (principal fournisseur mondial), sans compter les terroristes de tout poil, ce qui conduit à tempérer certains optimismes béats. D'autant que l'accord n'interdit pas de tirer des munitions explosives dont on sait qu'elles n'explosent pas toujours, notamment les sous-munitions dispersables qui, en pratique, ont le même effet que les mines.

De toute façon, même en admettant que le monde entier s'abstienne désormais de poser de nouvelles mines, les mines déjà posées ne disparaîtront pas par des incantations politiques. Le traité d'Ottawa a «résolu» le problème en décrétant que chaque partie s'engageait à détruire, dans un délai de dix ans, toutes les mines situées dans les zones sous sa juridiction ou son contrôle, mais il n'y a plus qu'à le faire! Or, même si le nombre souvent avancé de 100 millions de mines tient plus de la propagande que du réalisme, il s'agit d'un énorme chantier à l'échelle mondiale, chiffré par l'ONU à quelques dizaines de milliards de dollars, et objet d'une activité industrielle où s'activent quelques grandes sociétés étrangères: déminage humanitaire. Parmi tous les problèmes que pose ce chantier (politiques, économiques, humains et éthiques), le présent article s'intéresse aux seuls aspects techniques.

La meule et l'aiguille

Pour se débarrasser des mines existantes, il faut généralement agir en deux temps: repérer macroscopiquement et délimiter les emplacements des régions minées, aller y détecter individuellement toutes les mines pour les éliminer.

Si la seconde partie du programme s'apparente à la recherche d'une aiguille dans une meule de foin, la première est la recherche de la meule elle-même. L'exercice était simple avec des champs de mines de la Seconde Guerre mondiale, où les mines étaient posées sur

[1] *Ingénieur-conseil, président de la Compagnie européenne d'applications à l'environnement et à la sécurité. Ce texte est repris de la revue française* L'armement, *N° 65, mars 1999. Merci à son rédacteur en chef de nous en avoir donné l'autorisation.*

des zones de combat effectif, selon des plans réguliers et dûment relevés. De telles situations existent encore. Les mines de la Seconde Guerre mondiale sont toujours en place en Egypte et en Libye, et le déminage du Koweit, après la guerre du Golfe de 1991, s'est en grande partie effectué «sur plans». Cependant, l'emploi des mines par les armées de guérilla et l'avènement des mines dispersables dans les arsenaux des armées régulières ont peu à peu remplacé la notion de «champ de mines» par une dispersion aléatoire et non-mémorisé, sur des vastes espaces où la recherche de la meule devient aussi difficile que celle de l'aiguille.

On peut certes se dispenser de la recherche de l'aiguille en faisant détoner ou en disloquant les mines de façon aveugle sans avoir à les détecter une par une au préalable: cela se fait classiquement pour ouvrir une brèche à travers un champ de mines, en projetant des tapis ou des aérosols explosifs ou en faisant avancer des moyens mécaniques tels que des socs, des rouleaux ou des fléaux placés à l'avant de véhicules blindés. Seulement, les explosifs produisent des pressions intenses mais très brèves, auxquelles ne réagissent pas de nombreuses mines, les socs déplacent les mines en les enterrant; les rouleaux suivent ce micro-relief grâce à leur principe (percussion des mines par des chaînes tournant à grande vitesse autour d'un axe horizontal), mais leur efficacité est encore loin de 100%. Alors, si toutes ces méthodes présentent l'intérêt d'être très rapides, cette rapidité se paie par un fort pourcentage de mines résiduelles encore actives, contrepartie jugée acceptable dans une opération militaire mais inacceptable dans le déminage humanitaire.

Demeter *déclenche les mines à senseur électromagnétique 5 mètres en avant du char et 2,5 mètres de chaque côté. En association avec ce système, une charrue permet de neutraliser les mines posées et/ou enfouies.* (Photo: Giat Industrie)

Déminage militaire et déminage humanitaire

Cette distinction est essentielle pour comprendre l'étendue du problème. Le déminage militaire a pour but d'ouvrir très rapidement des brèches à travers des champs de mines ou d'ouvrir à la circulation des routes suspectes. Le déminage humanitaire a pour but de rendre des terrains à leur utilisation civile d'avant-minage, c'est-à-dire en général l'agriculture ou l'habitat. Il en résulte, pour le déminage humanitaire, des exigences très spécifiques.

■ **Problème de détection.–** On ne doit pas traquer les mines seulement là où l'on a militairement besoin de faire passer des hommes ou des véhicules, mais partout où elles se trouvent, ce qui peut conduire à explorer des superficies considérables.

■ **Problème de dimension.–** Les zones minées une fois approximativement définies, on n'y démine pas uniquement des axes de pénétration de faible largeur, c'est-à-dire des lignes, mais des terres agricoles et des zones d'habitation, c'est-à-dire des surfaces.

■ **Problème de qualité.–** Si la nature d'une opération militaire conduit à accepter le risque d'un pourcentage appréciable de mines résiduelles, le déminage humanitaire, lui, exige une quasi-certitude de déminage (99,6% au minimum, selon la norme de l'ONU).

Du déminage manuel aux hautes technologies

Or, à l'heure actuelle, la seule façon d'atteindre un tel pourcentage est le déminage manuel, éventuellement la finition manuelle derrière des moyens mécaniques. La méthode consiste à

- balayer le sol à quelques centimètre de hauteur avec une «poêle à frire», c'est-à-dire un détecteur de métal placé au bout d'un manche et émettant des alarmes sonores;
- le sonder avec une pointe inclinée de 30% sur l'horizontale, parfois une simple baïonnette; là où le détecteur a perçu ou cru percevoir la présence d'une mines;
- dégager précautionneusement le corps du délit pour le pétarder sur place selon la méthode anglo-saxonne, ou bien pour le neutraliser avant de l'évacuer, méthode qui a la faveur des *Crasy French*.

Lorsqu'il s'agit de repérer des mines dispersées à la volée de façon aléatoire, cette méthode manuelle ne permet guère de déminer que quelques dizaines de mètres carrés par démineur et par jour, alors que les zones minées se mesurent en centaines ou milliers de kilomètres carrés. Les experts en ont déduit qu'il y avait de quoi occuper - et tuer à l'occasion - quelques milliers de démineurs pendant plusieurs siècles. Il est donc nécessaire de réaliser un saut technologique gigantesque si l'on veut faire mieux.

A première vue, rien n'est plus simple: des centaines de laboratoires universitaires et industriels y travaillent activement, et la presse grand public s'enthousiasme de temps en temps pour quelque nouvelle technique qui va révolutionner l'art du déminage. Mais la publicité faite autour de certains résultats prometteurs risque de susciter des espoirs prématurés, car il y a très loin de la découverte d'un nouveau principe physique à la réalisation d'un matériel opérationnel.

Une mine antichar...

Détection de métal

Dans le cas des mines sous-marines, le principe physique le plus efficace est la détection acoustique mais, dans des milieux hétérogènes tels que la plupart des sols, cette méthode fonctionne beaucoup moins bien. En revanche, comme les toutes premières mines terrestres étaient souvent entourées de métal ou, tout au moins, comprenaient dans leur mécanisme une masse appréciable d'éléments métalliques (sans compter les éclats antipersonnel ou les assiettes antichars qu'elle étaient éventuellement chargées de projeter), la première méthode employée à leur encontre fut la détection de leur métal. Deux types d'appareils sont toujours utilisés à cet effet:

- **l'un passif:** le magnétomètre, qui mesure la déviation locale du champ magnétique terrestre produite par un objet ferromagnétique, comme cela se fait, à plus grande échelle, pour détecter un sous-marin dans l'eau;
- **l'autre actif:** l'inducteur, qui induit et détecte électromagnétiquement des courants de Facilite dans tous les objets métalliques, même amagnétiques.

En pratique, le magnétomètre est plutôt utilisé pour repé-

rer de grosses munitions non débondées et profondément enfouies (généralement entourées d'acier épais) et c'est à l'inducteur que l'on recourt pour détecter des mines, a priori faiblement enfouies. En effet, l'inducteur est capable de détecter à faible distance des masses de métal extrêmement faibles, ce qui lui a permis de suivre, au fil des ans, l'évolution technique des mines à effet de souffle qui n'ont aucun projectile à projeter. Certes, il y a déjà longtemps que le bois puis la bakélite ont été employés pour constituer l'enveloppe extérieure des mines, mais c'est sur tout le reste du mécanisme qu'ont porté les progrès récents, jusqu'à réduire la présence de métal à une tête de percuteur de masse inférieure au gramme.

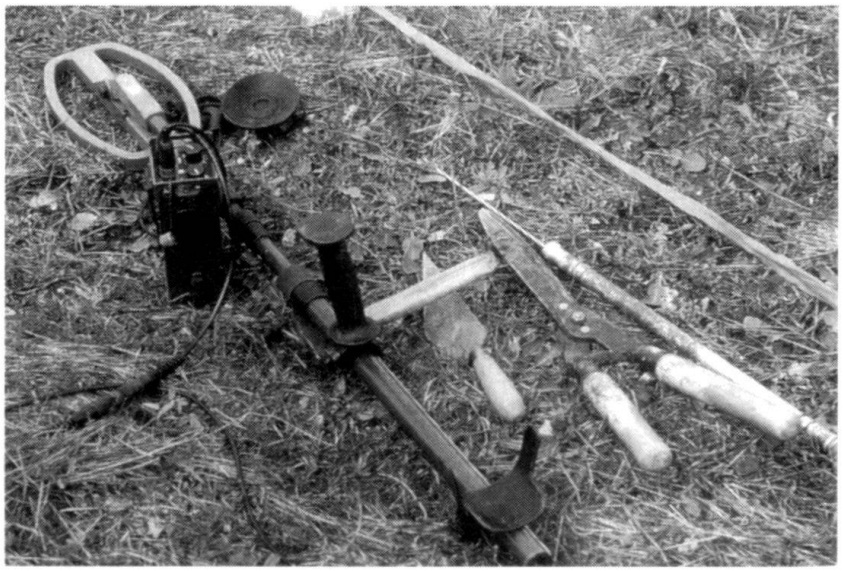
Le problème est que, de progrès en progrès, on a fini par réaliser des mines de type «zéro métal». Et même sans en arriver là, plus un détecteur est sensible et plus il détecte aussi les fausses alarmes que sont les éclats d'obus et autres débris métalliques, sans compter tous les débris de notre civilisation (boîtes de boissons, capsules de bouteilles, clous et bouts de fil de fer), jusqu'au moment où, la sensibilité croissant toujours, on finit par détecter toutes les hétérogénéités du sol, et le signal se perd alors dans le bruit ambiant. Lorsqu'on recourt à une méthode de déminage sommaire par des moyens mécaniques rapides tels que des fléaux, suivi d'une finition manuelle afin de parvenir au taux d'élimination de 99,6%, le fléau détruit certes quelque 80% des mines, mais chaque fois qu'il en brise ou en fait détoner une, il disperse des fragments de métal qui constituent autant de fausse alarmes supplémentaires.

Dans une récente campagne de déminage en Afrique, le tableau de chasse était le suivant: 360000 débris métalliques divers, 32000 éclats d'obus, 21000 douilles, 227 munitions non débondées, 11 mines antipersonnel, 9 mines antichars. Encore n'est-ce qu'un moindre mal: si les 20 mines en question n'avaient contenu aucun métal, il aurait fallu ajouter 20 démineurs au tableau de chasse. Alors, si le détecteur de métal reste indispensable, il devient de plus en plus nécessaire d'en fusionner les données avec d'autres données en provenance d'appareils fondés sur des principes physiques différents.

Détection d'explosif

La façon la plus radicale de distinguer une mine d'un morceau de ferraille est d'y détecter la présence d'explosif. Là encore, il existe deux options possibles: la détection de molécules explosives, la détection d'atomes caractéristiques de ces molécules, essentiellement l'azote.

La première méthode est appliquée depuis longtemps en recourant à l'odorat de chiens. Il s'avère en effet que la plupart des mines laissent migrer vers leur surface externe une partie de leur explosif, qui migre à son tour vers la surface du sol. Les concentrations résultantes sont infimes (quelque 10^{-6} en phase solide, quelques 10^{-9} en phase gazeuse), mais cela peut suffire à des chiens spécialement dressés. Cela étant, l'efficacité des chiens reste très controversés à cause de leur manque de fiabilité, si bien que de nombreux travaux sont en cours pour réaliser des «nez électroniques» qui concentrent puis analysent les traces d'explosif, ou bien pour dresser des bactéries luminescentes à proli-



La panoplie du démineur humanitaire.

férer de façon sélective sur ces traces. A cette date, toutefois, un saut qualitatif important reste à faire.

La seconde méthode consiste à exciter *in situ* les noyaux des atomes constitutifs des molécules explosives et à mesurer leur réponse. Cela peut se faire, soit par une excitation électromagnétique et une détection par résonance nucléaire quadripolaire, soit par une irradiation neutronique et une analyse des rayons gamma induits, dont l'énergie est caractéristique de l'atome irradié.

Seule la seconde méthode a atteint le stade de prototypes utilisables sur le terrain, les neutrons étant généralement produits par des sources radioactives (Cf 252), peu intenses et potentiellement dangereuses en cas d'explosion accidentelle d'une mine. De bien meilleurs résultats sont obtenus avec des générateurs électriques dérivés d'une technologie encore récemment réservée aux armes nucléaires, mais même ainsi, les temps de pose nécessaires à la détection d'explosif sont de l'ordre de la minute. De ce fait, le procédé ne peut pas être considéré comme un moyen de détection de mines, mais seulement comme un moyen de discrimination de fausses alarmes.

Formation d'images

La caractérisation d'une alarme étant impossible par la seule détection du métal et trop lente par la détection d'explosif, une troisième approche est une caractérisation par la forme. Le cas le plus simple est évidemment celui où la mine est en surface et visible à l'œil nu: cela arrive, surtout pour des mines dispersées à distance mais, dès lors que la mine est enfouie ou simplement recouverte de poussière, il faut recourir à des longueurs d'onde supérieurs à celles de spectre visible pour la «voir» sous la surface du sol en mode passif, avec des détecteurs infrarouges ou millimétriques, en mode actif, avec des radars centimétriques ou décimétriques.

La détection infrarouge passive implique la complicité du rayonnement solaire: elle consiste à visualiser les différences de température induite sur le sol par la présence d'une mine aux périodes de contraste thermique maximum de cycle diurne. Elle a eu son heure de gloire à la fin de la guerre du Golfe de 1991 où, avec une simple caméra à bord d'un hélicoptère, on a pu détecter sur le sol des alignements de point caractéristiques de champs de mines. Les circonstances étaient exceptionnelles, car les mines avaient été enfouies de façon très régulière et depuis peu de temps, si bien que la terre fraîchement retournée n'avait pas la même réponse thermique que la terre tassée d'alentour. En d'autres circonstances, une mine est facilement repérable par polarimétrie IR lorsqu'elle est en surface mais, dès qu'elle est enfouie, la différence de température qu'induit sa présence sur le sol au-dessus d'elle n'est plus repérable que moyennant un fort ensoleillement et un très faible enfouissement.

Lorsque la profondeur d'enfouissement augmente, il faut passer à des longueurs d'ondes supérieures, en s'éloignant ainsi du maximum de rayonnement propre du sol qui se produit vers 10 microns. Malgré cette diminution, ce rayonnement propre est encore suffisant pour être mesurable par des détecteurs millimétriques passif mais, au-delà, il est nécessaire de passer en mode actif avec des radars de pénétration de sol, *Ground-Probing Radar* (*GPR*), dont la pénétration croît avec la longueur d'onde mais dont la résolution spatiale diminue corrélativement, ce qui impose des compromis généralement situés entre 10 et 30 cm de longueur d'onde.

Traitement du signal

Le *GPR* est la technique la plus explorée actuellement, parce qu'il peut distinguer tous les objets ayant une constante diélectrique différente de celle du sol environnant, ce qui inclut les métaux mais aussi les matières plastiques: ceci est essentiel compte tenu de l'évolution des mines vers le «zéro métal». En contrepartie, contrairement à une caméra IR qui fournit un vague profil des objets détectés (mines ou fausses alarmes), un *GPR* ne donne pas directement une image interprétable par le cerveau humain: l'obtention d'une image suppose le traitement électronique d'un ensemble de signaux obtenus par balayage de la zone suspecte, avec un filtrage destiné à éliminer la réflexion du rayonnement sur l'interface air-sol et à extraire le signal du bruit important produit par l'hétérogénéité du sol.

A vrai dire, le problème du traitement d'image se pose même avec des détecteurs de métaux ou des caméras IR: un tel traitement est nécessaire dès que l'on veut exploiter des signaux plus finement que par l'oreille ou l'œil humain; il devient indispensable, lorsque l'on veut fusionner des signaux en provenance de capteurs multiples ou lorsque le rapport signal/bruit devient très faible. C'est, certes, un problème classique: à l'occasion de chaque réunion scientifique internationale sur le déminage (il y en a plusieurs par an), de nombreux algorithmes sont présentés à cet effet, qui ont comme caractéristique commune de fort bien détecter les mines dont le développé de l'algorithme connaissait par avance la position dans la caisse à sable ou sur le terrain expérimental utilisé. De là à réaliser des algorithmes universels fonctionnant en temps quasi réel et à les utiliser «en boîte noire», il y a encore un grand pas. Or c'est la condition indispensable pour faire fonctionner la génération montante des véhicules de détections, bardé de capteurs placés devant eux sur des plates-formes en porte-à-faux et qui, idéalement, devraient pouvoir rouler à grande vitesse sur des terrains inconnus en comptant sur un arrêt automatique, chaque fois que l'algorithme identifie une mine avec certitude.

Système léger de déminage militaire (Photo: Groupement de l'armement)

Les enjeux industriels

Tel est pourtant l'objectif des études menées en particulier par l'*US Army*, qui a organisé en 1998 un concours entre divers véhicules équipés de batterie *GPR* et de détecteurs de métaux, avec le renfort de caméras IR placées sur le toit. Cette méthode constitue en effet l'une des deux seules voie (l'autre est la détection aérienne), qui permet de progresser sans risque au-dessus des zones minées mais qui pose d'autres problèmes liés à la distance de détection. L'Europe a néanmoins décidé de relever ce défi en consacrant à la détection aérienne par IR et par radar une partie substantielle de ses crédits de recherche civils sur le déminage.

De la recherche au matériel opérationnel, il y a d'autant plus loin que la multiplicité des technologies possibles laisse perplexe celui qui doit effectuer un choix pour entreprendre un développement. En effet, même si l'on se limite aux principales technologies citées ci-dessus, chacune présente diverses options: rien que pour le *GPR*, on peut sélectionner des longueurs d'ondes discrètes ou couvrant un large spectre, on peut émettre des signaux très brefs ou des signaux plus longs et modulés, etc.

De toute façon, il n'existe aucun moyen universel du fait de la diversité des mines, des sols et des climats: le détecteur de métaux se trouve en défaut face aux mines sans métal ou dans des terrains riches en fer; l'IR se trouve en défaut dans les climats gris et pluvieux; le *GPR* ne fonctionne pas dans des rizières dont l'eau est conductrice, etc. Il faut donc réaliser toute une panoplie diversifiée d'appareils ayant chacun un marché limité, ce qui entraîne un risque industriel important, difficilement à la portée d'une firme de taille nationale. Certains industriels européens ont su réussir en choisissant judicieusement un créneau particulier. L'industrie française, elle, fait un effort de recherche et développement (seule ou en coopération européenne), mais à ce jour elle ne produit aucun matériel opérationnel à usage civil ou militaire.

M. D.