

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses

Band: 121 (1995)

Heft: 23

Artikel: L'héritage du XXe siècle

Autor: Nicoud, Jean-Daniel

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-78627>

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: 05.02.2026

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

L'héritage du XX^e siècle

Par Jean-Daniel Nicoud,
professeur,
Laboratoire de
Micro-informatique,
EPFL-Ecublens,
1015 Lausanne

Des mines par millions

L'humanité commence à peine à réaliser la gravité de la situation créée par le déploiement de cent dix millions de mines antipersonnel. Les pays dits civilisés, dont certains produisent en masse de tels engins pour l'exportation, ne sont pas touchés et ne réagissent pas. On peut pourtant imaginer le stress qui frapperait la population suisse s'il y avait seulement dix mines cachées dans des champs, sur des terrains de jeux, sur des chemins et que, de temps en temps on apprenne l'explosion de l'une d'entre elles, blessant ou tuant un enfant, un promeneur, un ouvrier, un ami... mettons ce chiffre à mille mines et le pays se trouverait paralysé. Au Cambodge, en Angola, au Pakistan et dans cinquante autres pays, la population doit vivre avec ce stress continual qui chasse les gens de leurs terres et empêche l'établissement d'une paix durable. Au Cambodge, il y a plus de mines antipersonnel que d'habitants et 2% de la population est déjà amputée d'une ou des deux jambes. De grandes zones sont condamnées et les Khmers rouges continuent à cacher traîtreusement des mines pour punir ou se venger. Mais que penser d'une vengeance qui s'abattra aussi bien sur un frère de race ou un touriste

Résumé

Actuellement, deux millions de nouvelles mines antipersonnel sont déployées chaque année, soit vingt fois plus que celles qu'on enlève. En supposant que l'on puisse interdire à court terme l'usage de ces armes, il faudra mille ans avec le financement et les techniques de déminage actuelles pour enlever les quelque cent millions de mines aujourd'hui en place. Cela veut aussi dire qu'un demi-million de civils et cinquante mille démineurs seront amputés ou périront en raison de ce déploiement massif d'engins meurtriers.

La technologie peut et doit apporter des solutions à ce problème. Si le coût du déminage est réduit d'un facteur cent, le travail sera effectué plus rapidement et, l'efficacité de la mine en tant qu'arme diminuant d'autant, il sera aussi plus facile d'en viser l'interdiction.

En l'état actuel, il est urgent de développer une combinaison de capteurs, alliée à un traitement d'information adéquat qui réduise les fausses alarmes. Un robot sera ensuite essentiel pour abaisser le coût du déminage. Capteurs et système de navigation compris, son prix ne devra pas dépasser six mille dollars, un défi dont la difficulté est comparable à celle que pose la mise au point d'un PC performant pour moins de deux mille dollars.

venu visiter les admirables ruines d'Angkor?

En tant qu'arme, il est vrai que la mine s'avère terriblement efficace et les armées y tiennent beaucoup. Elle ne coûte que quelques francs et elle est très difficile à détecter et à enlever si l'on ne sait pas précisément où elle se trouve. En principe, une armée organisée dresse des plans précis afin de pouvoir rapidement récupérer les terrains conquis. Mais ces plans sont souvent détruits, et les factions armées se préoccupent peu d'en établir. Reste alors le travail délicat et dangereux de retrouver toutes ces mines dispersées. Les Nations Unies estiment à huit cents dollars le coût moyen pour enlever une charge explosive qui n'en a coûté que deux! En outre, pour une moyenne de

deux mille engins éliminés, un démineur est blessé ou tué.

Les mines

En excluant les mines antichars - employées sur les voies de communication et qui sont les premières à être enlevées pour permettre l'intervention humanitaire - il existe quelque deux mille types de mines antipersonnel (fig. 1), dont les mérites sont vantés dans des catalogues spécialisés [1]¹. Avec un contenu de vingt à cent grammes d'explosifs nitrés (TNT, RDX, PETN), ces engins sont conçus pour blesser (fig. 2) plutôt que pour tuer: l'effet psychologique est plus durable. Au Koweït, ils ont souvent été largués par hélicoptère, ce qui permet de couvrir rapidement

¹Les chiffres entre crochets renvoient aux références en fin d'article.

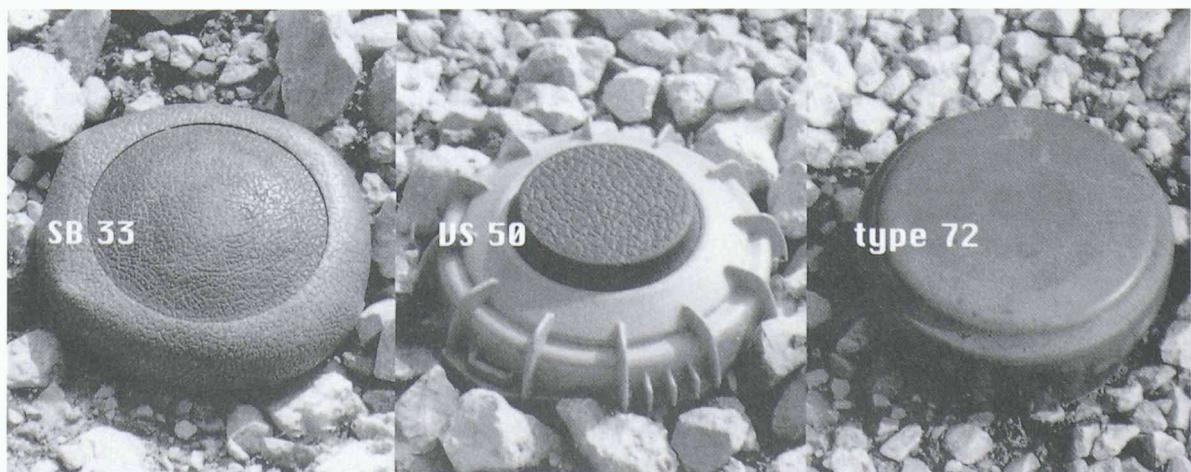


Fig. 1. - Mines antipersonnel (diamètre 8 à 10 cm)

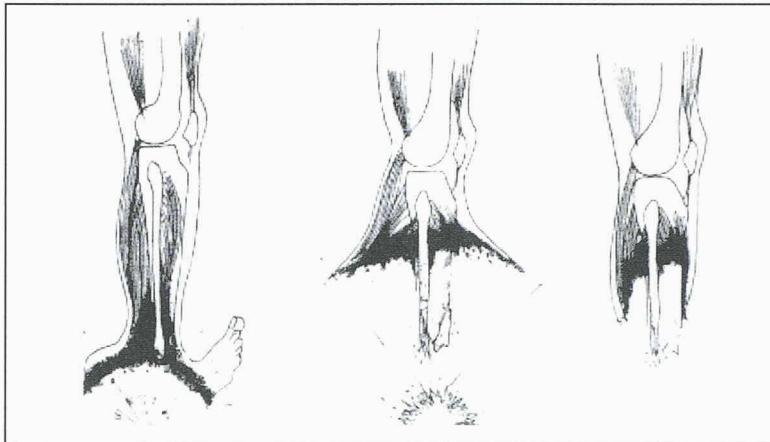


Fig. 2. - Les mines sont optimisées pour blesser

ment de grandes zones, et tant qu'ils n'ont pas été recouverts de sable charrié par le vent, ils demeurent facilement récupérables. Ce n'est pas le cas au Cambodge, en Angola et en Afghanistan par exemple, où les mines sont soigneusement cachées, enterrées sous deux à dix centimètres de terre et prêtes à sauter sous une pression de cinq à dix kilos sur leur couvercle. Le prix d'une mine, on l'a dit, est de quelques dollars et les principaux fabricants sont russes, chinois, italiens, américains. Des entreprises suisses ont aussi vendu par le passé des millions de détonateurs pour ces engins.

De plus, les mines antipersonnel modernes ne contiennent presque plus de métal et si l'aiguille du détonateur est encore en acier, on peut également la faire en céramique. Tandis que l'ONU et le CICR veulent modifier la convention sur les armes inhumaines pour interdire les mines antipersonnel, au même titre que la terrible arme chimique, les armées «civilisées» souhaitent que l'on continue à autoriser les mines détectables, ou qui se détruisent automatiquement après un certain temps. Une telle tromperie ne peut être destinée qu'à donner une façade de bonne conscience à une armée riche.

Les mines les plus dangereuses sont les engins bondissants à fragmentation. Déclenchées par un fil peu visible tendu sur le sol, elles sautent à deux mètres de hauteur avant de projeter à la ronde les débris de leur enveloppe et les centaines de billes d'acier qu'elles contiennent. Pour les repérer, les équipes de

déminage sondent le terrain avec de longues perches (tout en surveillant les mines enterrées). Si un ingénieur imagine facilement un harpon catapulté et treuillé au travers du terrain, quel industriel réussira à vendre un tel équipement de petite série pour moins de vingt mille francs suisses, alors que cette somme excède déjà le coût de dix démineurs autochtones pendant une année? Le responsable d'une campagne de déminage préférera les démineurs.

Le déminage

Concentrons-nous sur le problème des cent millions de mines antipersonnel inégalement réparties sur notre planète. En temps de guerre, les militaires déminent en poussant devant un tank, une charrue, un rouleau ou des chaînes frappant le sol (fig. 3). Ce procédé fait exploser une bonne partie des mines et l'armée peut ainsi passer dans un couloir de pénétration dégagé à 90%; tant pis pour quelques soldats de première ligne...

Le déminage humanitaire obéit à des contraintes très différentes: il doit rendre à la population un terrain absolument sûr et pour restaurer la confiance des gens, les équipes de déminage organisent une partie de football sur les terrains déminés. Au Cambodge, ces équipes font preuve d'une très grande discipline de travail et utilisent un détecteur de métal pour localiser les endroits à risque. A ces emplacements, chaque centimètre de sol est alors piqué avec une tige d'acier inclinée à trente degrés pour identifier la forme et la nature du déchet métallique ou de la mine qui a causé l'alarme (fig. 4). Les débris sont enlevés, une charge d'explosif est placée à côté des mines et chaque engin est immédiatement détruit. La progression est donc très lente, car un ancien champ de bataille contient quantité de débris et il y a jusqu'à cinq cents fausses alarmes pour une mine trouvée et détruite, chaque alarme nécessitant le maximum de précautions. Au Koweït, un grand nombre d'accidents ont frappé des équipes de déminage trop pressées.

Quelles sont les réponses technologiques possibles?

Les techniques de déminage n'ont pas évolué depuis cinquante ans. Le déminage huma-

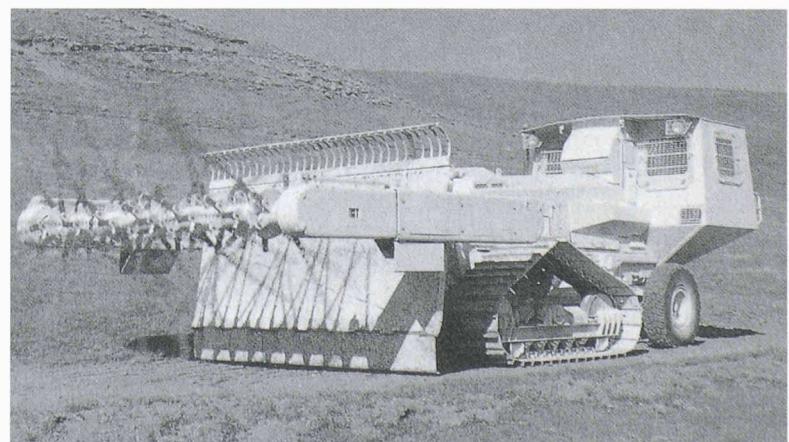


Fig. 3. - Tank équipé pour dégager un passage dans un terrain miné



Fig. 4. - Équipe de démineurs piquant le sol pour identifier une mine (tiré de [8])

nitaire artisanal perdure car les démineurs autochtones se considèrent comme très bien payés pour les risques qu'ils courent (de cent à deux cents dollars par mois). Quant aux militaires, ils ont investi dans des solutions très lourdes et coûteuses, pour déblayer des passages. Des recherches militaires ont toutefois été effectuées sur les radars pénétrants, les micro-ondes, les rayons X ou les spectrographes ioniques. Quelques résultats commencent à s'en dégager, mais les applications pressenties demeurent coûteuses et encombrantes. Si, de leur côté, les équipements pour la détection d'explosifs dans les aéroports ne sont pas utilisables, les technologies qu'ils mettent en oeuvre peuvent déboucher sur des solutions si le marché du déminage s'ouvre. Des chiens sont également dressés pour reconnaître les mines, mais ils se fatiguent vite et sont très coûteux. S'ils ne sauraient donc suffire à assurer le déminage systématique d'une zone, ils sont en revanche très utiles pour parvenir à l'affirmation qu'il n'y a pas de mines à un endroit donné.

La recherche académique et industrielle, qui a développé et diffusé en quelques décennies, voire années, des solutions à des problèmes difficiles en matière d'électronique, d'informatique, de télécommunications, de logistique de transports et d'applications médicales, entre autres, a ignoré le problème de la détection des mines. Pourtant, détecter des mines cachées dans le sol en tenant compte de la façon dont elles absorbent les champs électromagnétiques ou réfléchissent les micro-ondes, en reconnaissant les particules de TNT ou de plastique qui s'en échappent, ou en transformant génétiquement certaines plantes afin qu'elles signalent la présence de mines est techniquement possible et certainement plus facile que de caser cinq millions de transistors sur une puce de 1 cm^2 de silicium. Seulement, il faut consentir à y investir du temps de chercheurs et d'ingénieurs, ce qui ne se fait pas actuellement. Les progrès enregistrés dans des domaines tels que l'étude du proche sous-sol, l'analyse des bétons armés, la détection d'explosifs dans les aéroports, les détecteurs d'odeurs en agro-alimentaire ou, encore, la robotique pointent en effet vers de nombreux développements technologiques qui pourraient être appliqués et adaptés à la détection et à la désactivation des mines.

Une évolution réjouissante se dessine toutefois. En 1973, le Comité international de la Croix Rouge (CICR) a organisé à Montreux un premier symposium [2] sur le sujet. Le suivant a eu lieu à Stockholm [3]. En avril de cette année, un grand congrès consacré aux mines marines a été organisé à Monterey [4], tandis que la SPIE tenait une première session sur les détecteurs à Orlando [5]. Ces manifestations ont encore été complétées, début juillet, par le séminaire de Lausanne [6] et le

meeting organisé par l'ONU à Genève (voir encadré). Cela étant, le CICR et l'ONU, appuyés par les organisations humanitaires, sont inquiets de voir que la conférence de Vienne sur le désarmement, en octobre 1995, n'a pas abouti à l'interdiction des mines antipersonnel. Ces organismes poursuivent donc un effort de sensibilisation important [7], [8], que cet article tente de renforcer.

Le robot démineur du LAMI

Le Laboratoire de microinformatique de l'EPFL (LAMI) a développé un robot démineur dont la presse a beaucoup parlé. Si la conception de cet équipement, qui est léger, bon marché et utilisable par les populations locales, semble satisfaisante aux experts en déminage, il est encore loin d'être opérationnel, car le problème essentiel est de disposer de capteurs qui détectent les mines non métalliques et ne génèrent pas trop de fausses alertes.

Le projet a démarré grâce à la générosité de M. John Walker, un industriel américain vivant en Suisse et qui, découvrant les travaux sur les robots miniatures autonomes du LAMI, a donné cent mille francs de sa poche pour financer l'étude d'un robot démineur. Le projet a débuté en mai 94 avec l'engagement de Philippe Mächler, un ingénieur formé à l'EPFZ. Une première maquette (fig. 5), basée sur le robot Khepera du LAMI, a été réalisée pour tester les algorithmes de navigation [9]. En parallèle, les contacts avec le CICR et des spécialistes du déminage ont permis de saisir la vraie difficulté du problème. Si un robot est essentiel pour sauver les vies humaines et accélérer le processus de déminage, la première difficulté du projet réside dans le détecteur de mine, pour lequel aucune solution efficace n'existe encore. Le LAMI a alors décidé d'organiser un séminaire

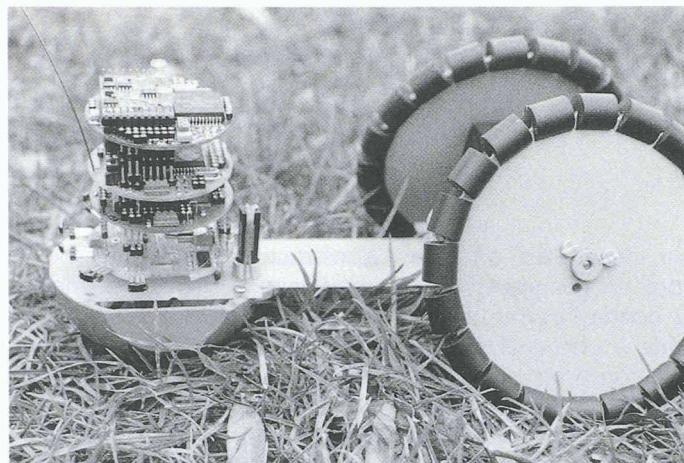


Fig. 5. - Maquette Pemex-BS destinée au développement des algorithmes de navigation

spécialisé sur les détecteurs de mines, qui a eu lieu par un heureux hasard la semaine précédant le grand meeting de l'ONU sur le déminage.

Il est de plus apparu que le projet appelait un financement assez important et qu'une petite maquette permettant de développer et tester des algorithmes ne suffirait pas à convaincre des experts en déminage et les organismes susceptibles de soutenir la poursuite du développement. En effet, un projet centré sur un objectif relativement abstrait, comme une combinaison de capteurs de mines et d'algorithmes de navigation doit chercher à se doter d'une visibilité médiatique - apportée ici par le robot - pour tenter d'obtenir un financement adéquat. Car le financement d'un projet qui vise un développement de type industriel, alors que le marché n'existe que potentiellement, est difficile. Et ce financement ne concerne pas la recherche à long terme: l'ONU et les ONG (organisations non gouvernementales) sont pressées de rendre les terrains aux populations locales, les pays concernés sont pauvres, les équipes de déminage demandent à voir avant de commander et l'industrie ne peut investir que si elle a des commandes. Une validation sur le terrain d'une première solution viable est donc nécessaire pour «amorcer la pompe».

Les robots Pemex

Dans la phase initiale du projet mené à l'EPFL, une famille de robots nommés *Pemex* (*Anti-Personnel Mine Explorer*) a été

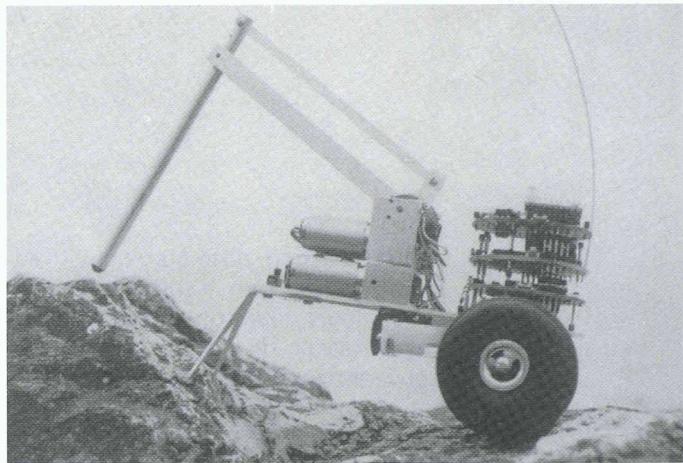


Fig. 6. - Maquette du Pemex-W pour terrains très accidentés

imaginée [9]. Dans tous les cas, l'objectif était de trouver une solution simple qui se laisse construire à bon marché. Deux variantes ont été envisagées: le *Pemex-B* avec deux roues et deux moteurs, décrit plus loin, et le *Pemex-W*, inspiré des pelles-araignées bien connues dans notre pays, et dont un type a été construit à l'Institut de robotique de l'EPFZ (prof. Schweitzer). Un prototype jouet a en outre été réalisé avec trois moteurs, pour occuper un étudiant à faire du logiciel de commande (fig. 6). Un robot de ce type conviendrait pour chercher des ratés (munitions non explosées, UXO) dans les pentes de nos montagnes, après les exercices de tir. Le détecteur au bout du bras explore une zone; le bras sert ensuite à déplacer le robot. On peut imaginer que ce dernier tape sur la mine pour la faire exploser, mais c'est là l'une des nombreuses idées naïves que l'on peut avoir lorsque l'on

ne connaît pas toute la problématique des mines.

Le robot Pemex-B

Le robot à deux roues *Pemex-B* est extraordinairement simple et l'expérience montre ses excellentes aptitudes sur le terrain. Le prototype utilise des roues de VTT (fig. 7), avec une pression au sol de six kilos. Ce choix a été retenu comme le plus simple pour le prototype, même si des roues en bambou de deux mètres de diamètre peuvent constituer une meilleure solution au Cambodge, par exemple. Une demi-sphère de 50 cm de diamètre sert de troisième point d'appui et contient le capteur de mine, qui est ainsi au plus près du sol. Une force de cinq à dix kilos étant suffisante pour déclencher une mine, un capteur léger est donc nécessaire. Enfin, pour éviter les obstacles, des capteurs de distance infrarouges et ultrasophoniques sont utilisés.



Fig. 7. - Robot Pemex-B avec un détecteur de métal simple: la tête oscille de droite à gauche pour balayer un espace de recherche plus large que le robot.

La construction distingue deux parties de haute technologie. Les moteurs, leur commande et le processeur de navigation se trouvent dans une boîte centrale entraînant les roues. Le capteur de mine, les détecteurs de distance et le processeur local (pour les spécialistes, précisons qu'il s'agit d'un 68331) se trouvent dans la demi-sphère frontale. La carcasse qui les relie est très légère et le prototype *Pemex-B* a été rendu spécialement transportable (sac à dos de 19 kg) pour être amené facilement au concours de robots mobiles à Espoo, Finlande, dans le cadre d'une conférence IFIP sur les «Intelligent Autonomous Vehicles» en juin 1995 [10].

La localisation exacte du robot est prévue grâce à un GPS précis ou un système de balayage laser avec des balises fixes. Pour chercher les mines, un mouvement alternatif est donné aux roues et

le capteur décrit des arcs de cercles tout en avançant. Si le détecteur donne l'alarme, le robot procède à une analyse fine de l'endroit concerné, comme le fait le démineur qui déplace son détecteur de métal, afin de mieux repérer l'emplacement. Le *Pemex-B* se déplace très bien sur des terrains présentant des bosses et des creux, dont la taille est inférieure au tiers du diamètre des roues. Avec ses deux moteurs continus de 70 watts, il grimpe également sans peine les talus et les escaliers, si des crampons sont ajoutés aux roues.

Navigation

Les champs de mines sont au préalable marqués par des équipes spécialisées. Selon le scénario type actuellement envisagé [11], une camionnette tout terrain se place au coin de la surface à explorer et trois robots sont assemblés et préparés. La

construction légère, simple et modulaire du *Pemex* permet de stocker plusieurs modules à l'intérieur d'un petit véhicule tout-terrain, tandis que les roues sont placées sur le toit. Les coordonnées du terrain sont ensuite introduites dans un ordinateur individuel, trois zones de travail sont définies sur l'écran graphique et les robots sont envoyés au travail par radio (fig. 8). Grâce au GPS ou à un système équivalent, chaque robot sait exactement où il est et quel parcours il doit effectuer en évitant les obstacles. Soit il gère lui-même la carte de ses déplacements, soit il est commandé par le PC centralisé. Dans tous les cas, il donne régulièrement sa position et communique les résultats de son exploration. Lorsqu'une zone présente des obstacles trop difficiles, elle est explorée à la main ou à l'aide d'un robot téléguidé. Si le GPS

Réunion internationale sur le déminage, Genève 5-7 juillet 1995

La Réunion internationale sur le déminage s'est déroulée à Genève du 5 au 7 juillet 1995. Elle a réuni des panels techniques en parallèle avec un débat politique au plus haut niveau, au cours duquel chaque pays a annoncé le montant de sa contribution. Si le total obtenu s'élève à environ 85 millions de dollars, cette somme demeure bien en deçà des espoirs de l'ONU.

La délégation suisse a été conduite par le secrétaire d'Etat Jakob Kellenberger, directeur politique du DFAE, avec pour membres MM. A. Thalmann, M. Ferrari, E. Dahinden, H. Habegger, H. Bernauer, J. Pieren, C. Wild et J.D. Nicoud. Les présentations techniques ont permis à des spécialistes d'exposer leur expérience, et aux participants de poser des questions dans les domaines suivants:

- levé de champs de mines;
- méthodes actuelles de déminage;
- formation de démineurs autochtones;
- gestion des opérations de déminage;
- innovations technologiques applicables à la détection des mines, des champs de mines et au déminage;
- traitement et rééducation des victimes de mines terrestres;
- déminage d'urgence: problèmes et solutions;
- sensibilisation et formation des populations locales;
- programme intégré de déminage: concept et mise en oeuvre.

Quelques documents ont été distribués sur place, mais il n'y aura pas de comptes rendus publiés par les Nations Unies.

Dans la mesure où elle représentait une première tentative internationale coordonnée en vue d'une responsabilisation morale et financière des Etats face à la problématique des mines terrestres, l'organisation de la Réunion internationa-

le sur le déminage a déjà constitué en soi un signe encourageant. Pour l'ONU, l'objectif de la Réunion consistait à lancer un triple appel:

- 1) appel à une plus grande coordination entre les pays qui possèdent les ressources techniques, humaines et financières nécessaires au déminage, car les actions de déminage actuelles sont conduites de manière dispersée;
- 2) appel aux pays victimes des mines antipersonnel pour qu'ils développent la volonté nationale de lutter contre les mines et pour qu'ils favorisent le retour à la paix dans les zones en conflit;
- 3) appel à mener une réflexion globale sur les mines et sur la perspective d'une convention bannissant toutes les mines antipersonnel.

La grande majorité des délégations a fait référence à l'ampleur du fléau (110 mio de mines disséminées dans 64 pays) et à la nécessité d'une approche globale de la problématique. A ce propos, il a été reconnu que l'ONU, par le biais de son Département des affaires humanitaires, devait constituer le cadre institutionnel pour la mise sur pied et la coordination des actions de déminage humanitaire.

Les faits et les chiffres éloquents qui caractérisent la situation actuelle ont été rappelés dans la plupart des interventions:

- la pose de mines est rapide et bon marché, tandis que le déminage est très lent et de cent à trois cents fois plus coûteux;
- au rythme actuel du déminage, il faudrait 1100 années pour enlever toutes les mines actuellement en place;
- en 1993, la communauté internationale a affecté 67 millions de dollars pour retirer quelque 100 000 mines, mais au cours de la même année, deux millions de nouvelles mines ont été posées!
- un patient chirurgical sur cinq traités par le CICR est une victime des mines;

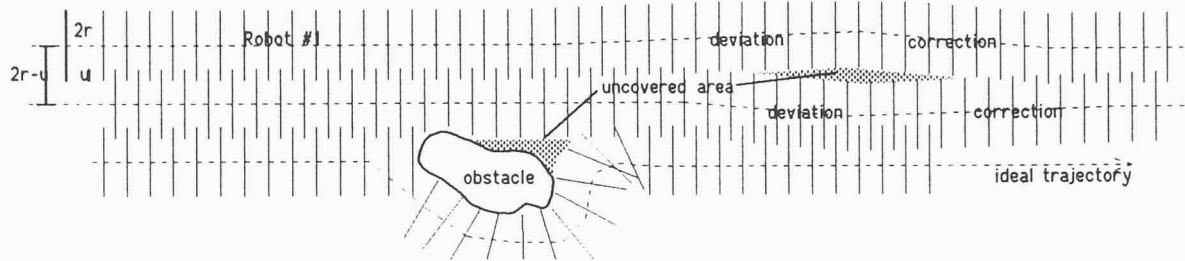


Fig. 8. - Scénario de recherche de mines par trois Pemex-2 semi-autonomes

offre une précision de dix centimètres, le robot peut garantir une couverture efficace du terrain avec un capteur de vingt centimètres de diamètre. En effet, les erreurs de positionnement impliquent un recouvrement des zones explorées, pour garantir que chaque centimètre carré a été examiné.

La maquette du robot *Pemex-BS* basée sur le robot miniature *Khepera* et son système de positionnement laser (précision de un centimètre pour une surface de deux mètres sur trois) permettra un développement rapide des algorithmes de navigation et de communication avec le PC central. Pour l'heure toutefois, cette partie du travail a été mise en deuxième priorité, étant donné l'insuffisance des capteurs de mine actuels.

Pour désactiver les mines, il y a deux possibilités. Le robot peut déposer une charge sur la mine, reculer et déclencher l'explosion. Toutes les charges peuvent aussi être amorcées simultanément en fin de journée, s'il est certain que le robot ne déclenchera pas de mine par son propre poids. Dans le deuxième cas, l'emplacement de la mine est marqué au spray pour permettre ensuite aux démineurs spécialisés de venir soit faire sauter la mine, soit la dégager, la reconnaître, la désamorcer et l'apporter dans une fosse pour le feu d'artifice final. Ces deux techniques de destruction sont utilisées par les équipes de déminage, selon la quantité et le type d'engins, ainsi que selon la valeur marchande des mines volées. Au Cambodge, il est impor-

tant de les détruire immédiatement pour ne pas les retrouver le lendemain sur son chemin. Evidemment, entre un scénario imaginé et testé en laboratoire, et un équipement qui fonctionne tous les jours sur le terrain, avec des opérateurs peu qualifiés, la distance est grande.

Capteurs de mine

Les capteurs de métaux doivent être très sensibles, afin de détecter les mines dites «minimum metal». Or dans les sols ferreux, qui existent au Cambodge en particulier, cela pose naturellement problème. Partout ailleurs, la quantité de petits débris métalliques, qui doivent être chaque fois extraits du sol avec force précautions, ralentit considérablement la progression. Un magnétomètre sensible, tel qu'il

– chaque mois, les mines font entre 500 et 800 morts et estropient un millier de personnes supplémentaires. Cette réalité a été unanimement condamnée et qualifiée de «catastrophe d'envergure mondiale», d'«insulte à l'humanité», «d'entreprise parmi les plus tristes et les plus barbares de la race humaine» ou, encore, de «terrorisme aveugle». La plupart des pays appliquant un moratoire d'exportation sur les mines antipersonnel ont encouragé le reste de la communauté internationale à suivre leur exemple.

Au vu de l'ampleur des ravages causés et sur un ton très ferme, le secrétaire général a appelé les Etats à considérer les mines antipersonnel comme une véritable arme de destruction massive. En cela, il propose qu'elles soient soumises à un régime juridique s'inspirant de la Convention sur les armes chimiques. De concert avec le président du CICR, il a lancé un appel vibrant pour une interdiction totale de la production, du stockage, du transfert et de l'utilisation des mines antipersonnel.

On peut résumer en cinq points les principales «propositions modérées» qui ont été articulées par la majorité des délégations étagées:

- 1) renforcement des capacités internationales et de l'expertise locale des pays victimes en matière de déminage;
- 2) augmentation des ressources investies pour développer de nouvelles technologies de déminage;
- 3) renforcement de la capacité de l'ONU à coordonner les activités de déminage;
- 4) dans l'attente d'une interdiction totale, renforcement de la Convention de 1980 sur les armes inhumaines lors de la Conférence de Vienne;
- 5) création d'un mécanisme de vérification de la Convention de 1980.

Le caractère global et les dimensions multiples de la problématique des mines sont très clairement ressortis des dé-

bats. En effet, le fléau des mines terrestres disséminées de manière anarchique relève à la fois du domaine humanitaire, du maintien de la paix, de la reconstruction, des réfugiés et du développement.

La présence de mines terrestres dans une région sortant d'un conflit constitue une entrave à la consolidation de la paix. En cela, le déminage est une des premières mesures post-conflictuelles qui doit être entreprise par la communauté internationale. Contrairement au déminage militaire (conçu avant tout pour se frayer rapidement un passage dans un champ de mines), le déminage humanitaire est essentiellement une action de dépollution de longue haleine. Les mines constituent souvent une entrave à l'acheminement de l'aide humanitaire. Elles sont une menace pour la paix, la stabilité et le développement économique.

Dans son intervention, le directeur général du Programme alimentaire mondial (PAM) a démontré le cercle vicieux engendré par la présence de mines dans une zone agricole. Les champs ne pouvant plus être cultivés, la population n'a plus de ressources alimentaires et se déplace. Cette migration forcée se transforme alors en problème de «réfugiés alimentaires» dont la relocation constitue un nouveau facteur d'instabilité. Cette situation a contraint le Haut commissariat pour les réfugiés (HCR) à s'occuper également de la question des mines, bien que ce ne soit pas dans son mandat. En Angola, trois millions de personnes déplacées dans le pays et quatre cents mille réfugiés hors des frontières ne peuvent retourner dans leurs villages en raison de la présence des mines; on estime qu'il y a entre neuf et quinze millions de mines disséminées, soit une à une mine et demie (!) par habitant dans ce pays.

La Suisse a décidé de soutenir le Fonds volontaire pour l'assistance au déminage par une contribution totale d'un million de francs, dont une moitié est destinée au *Mine Action Programme* en Angola.

est utilisé en géologie, peut donner une indication sur la présence de mines, mais ce type d'équipement n'a jamais été employé par des équipes de déminage sur le terrain, pas plus que les diverses technologies que nous passons en revue ci-après. Les radars pénétrants ou GPR («ground penetrating radars») semblent très prometteurs. Il s'agit d'une application faisant appel à une impulsion envoyée par une antenne, d'une durée inférieure à une nanoseconde, et à laquelle correspond un écho ou une résonance mesurés en retour (une solution miniature à faible puissance est proposée par le Lawrence Livermore Laboratory, mais n'est pas encore commercialisée). Les spectro-mètres utilisés dans certains aéroports sont lents et encombrants. Dans le domaine des détecteurs d'odeurs, on enregistre des progrès considérables, mais les exigences de sensibilité et de robustesse propres au contexte du déminage sont beaucoup plus complexes que celles posées par des applications agro-alimentaires par exemple. Des biocapteurs basés sur les anticorps semblent pouvoir être envisageables pour détecter les composés nitrés des explosifs. Une expérience intéressante faite il y a déjà quelques années en Suède montre en effet que des lanières de muscles coupées dans l'estomac d'une vache se dilatent de 30% en présence d'une très faible concentration de TNT (10^{-10}). Enfin, parmi les technologies qui mériteraient encore d'être explorées et évaluées, le microcalorimètre développé par IBM-Rüschlikon peut mesurer une élévation de température due à l'explosion d'une seule molécule de TNT.

Le projet Pemex-2

Le LAMI est prêt à développer un capteur de mine et un robot utilisables sur le terrain. Une analyse détaillée du travail né-

cessaire pour aboutir à une combinaison de capteurs sensibles et fiables, en collaboration avec les instituts ou entreprises étrangères qui ont le plus d'avance, a permis de chiffrer le coût de ce développement à un million de francs. Dans un premier temps, l'objectif du projet n'est pas de fournir une solution universelle, ce qui ne serait pas réaliste, mais un type de robot bien adapté à 1% des champs de mine, ce qui permettrait déjà la détection d'un million d'engins! Les spécifications d'un type de terrain et des mines que l'on y trouve, complétées par l'expérience de spécialistes du déminage, serviront de base aux travaux, car il est illusoire de développer une application en laboratoire et de penser qu'elle fonctionnera comme prévu sur le terrain. Lorsqu'une solution aura fait ses preuves quelque part, des versions adaptées seront demandées par les équipes de déminage pour d'autres types de zones et l'industrie pourra répondre à ces demandes.

Différents appuis gouvernementaux et privés rendent ce projet réaliste. Il doit prouver aux équipes de déminage que la technologie peut contribuer à augmenter leur efficacité et diminuer le risque. En parallèle à ce projet «terre à terre», un effort de recherche doit se développer en Suisse et dans le monde pour trouver de nouveaux types de capteurs et de robots adaptés aux diverses situations de déminage. Dans cette optique, les résultats des recherches militaires devraient en outre être rendus accessibles aux chercheurs et à l'industrie privée.

La première étape de ce projet, dont le coût est donc estimé à un million de francs suisses sur deux ans, doit d'une part conduire au développement d'un capteur combiné métal/radar, avec construction de cinq

prototypes utilisables manuellement ou par un robot et, d'autre part, au perfectionnement du robot Pemex-2, avec réalisation de trois prototypes. L'ensemble du projet sera mené de façon à permettre à une équipe spécialisée en déminage, d'effectuer à fin 1997 une partie de son travail grâce aux équipements développés au LAMI. Une analyse comparative détaillée devra ensuite être effectuée entre la solution traditionnelle (détecteur de métal et sondage du terrain à chaque alarme), la solution manuelle avec le nouveau capteur combiné et la solution faisant appel au capteur déplacé par le robot Pemex-2. Le développement et les essais seront limités à une catégorie de terrain et de mine, afin de permettre une exploration exhaustive. Les résultats obtenus pourront alors être utilisés à convaincre les équipes de déminage de l'efficacité de nouvelles solutions techniques et susciter des applications destinées à d'autres types de terrain et de mines.

La deuxième étape du projet Pemex-2 verra la mise en fabrication rapide de la version améliorée résultant des expériences effectuées. Si les ONG, les équipes de déminage et les pays concernés marquent leur intérêt pour la solution Pemex-2, des entreprises seront certainement prêtes à investir dans la production et à s'adapter au marché. Celles qui auront participé à la sous-traitance pour la première étape seront à même de réagir rapidement. De plus, certaines parties de robot devraient pouvoir être fabriquées dans les pays touchés par la présence de mines et des contacts avec le Vietnam et le Cambodge sont déjà en cours.

En parallèle à cette action visant un objectif précis et limité, l'effort de recherche international doit être encouragé et l'échange d'information renforcé. Sur le

L'honneur de l'ingénieur

Nos lecteurs se seront peut-être étonnés de constater combien l'article ci-dessus déborde du domaine technique, soit la détection et la mise hors service des mines antipersonnel, pour aborder de façon approfondie un thème politique et humanitaire: la dissémination et la nécessité de l'interdiction de ces engins cruels.

Mais voilà: «Science sans conscience n'est que ruine de l'âme», et c'est l'honneur du professeur Nicoud et de ses collaborateurs que d'avoir vu, au-delà de l'aspect technique certes passionnant du problème du déminage, l'immense détresse humaine des populations quotidiennement meurtries. En s'associant à tous les milieux qui dénoncent l'attitude inqualifiable des gouvernements réfractaires aux mesures appropriées à combattre ce fléau, l'EPFL montre qu'elle n'est pas la tour d'ivoire de scientifiques aussi doués soient-ils, mais une partie intégrante de notre société.

Le pas suivant: urgent!

Les ingénieurs de l'industrie connaissent le coût du pas décisif entre un prototype fonctionnant à satisfaction et une machine de série, assurant de façon fiable ses services loin de l'œil attentif de ses concepteurs. De même, transformer ce prototype en produit apte à être construit en série au meilleur prix demande un important investissement préalable en temps et en argent. Pour que ce pas soit franchi sans retard, les intentions exprimées quant au développement industriel du *Pemex-2* doivent impérativement se concrétiser. Il ne sera pas dit qu'aux investissements de l'EPFL, de la fondation *Pro Victimis* et du DFAE ne correspondent pas les appuis privés et industriels interpellés par le professeur Nicoud.

Ce sont quelque 70 pays membres de l'ONU – et pas seulement les moins riches – qui sont en retard dans le versement de leurs contributions: une raison de plus pour aider au développement d'un équipement apte à s'attaquer efficacement, à un coût accessible, aux millions de mines antipersonnel qui mettent l'enfer sous les pas de populations déjà tragiquement éprouvées par des années de guerre.

Jean-Pierre Weibel

World Wide Web, l'accès <http://www.fourmilab.ch/minerats/> sert déjà de forum d'échange. Le projet *Pemex-2* est en cours de définition précise. En parallèle à la recherche de financements et de collaborations adéquates, M. Guy Lucas de *Bactec* fonctionnera comme conseiller principal pour fixer le type de terrain et de mine, puis pour préparer l'expérimentation. D'autres spécialistes (Alister Craib, Colin Mitchell de *Halo Trust*, Ehlers+Kruessen) seront consultés en début et en cours de projet. Quant à Monsieur Sam Hing, industriel à Ar-champs, il a établi des contacts politiques et industriels lors de son voyage au Cambodge et au Vietnam en septembre 1995.

Le projet peut se décomposer en différentes parties avec un financement réparti. La fondation *Pro Victimis* à Genève, qui a déjà financé plusieurs campagnes de déminage, a accordé 250 000 francs suisses à ce projet. Le DFAE (Département des affaires étrangères suisse) s'est engagé pour une contribution de 150 000 francs suisses en 1995-1996. De son côté, l'EPFL apportera son aide sous forme d'équipements et de personnel mis à disposition pour des sous-projets en collaboration avec d'autres unités. Enfin, l'appui de

privés et de l'industrie est nécessaire pour atteindre complètement nos objectifs.

Conclusion

De toutes les armes utilisées pendant les guerres, les mines antipersonnel sont les plus terribles et les plus inhumaines, car elles continuent à tuer très longtemps après la fin des hostilités. Enlever ces mines est très dangereux et extrêmement coûteux actuellement, car les investissements destinés à développer des techniques de détection et de neutralisation sont demeurés ri-

diculement faibles par rapport à l'importance du problème. La communauté scientifique doit donc être encouragée à chercher activement des solutions économiques de détection. De même, l'industrie doit être poussée à s'associer au développement de solutions qui soient utiles aux équipes de déminage et financièrement supportables par les Nations Unies et les gouvernements. Quant aux pays les plus riches, ils doivent s'attacher à montrer l'exemple, même s'ils se sentent le moins directement concernés par ce problème.

Références

- [1] «Jane's Military and Vehicule Logistics 1994-95» 15th ed, 1994, ISBN 0 7106 1162 5, 745p.
- [2] «Symposium on Anti-Personnel Mines», Montreux, April 1993, International Committee of the Red Cross, Geneva (CICR/ICRC, The Scientific Counselor, 19 Av. de la Paix, CH-1202 Geneva)
- [3] «International Workshop of Technical Experts on Ordnance Recovery and Disposal in the Framework of International Demining Operations», Stockholm, June 1994, 44p. (FOA, Dept of Weapons and Protection, S-17290 Stockholm)
- [4] «Autonomous Vehicles in Mine Counter-Measures - Symposium», Monterey, April 1995, 690p. (Undersee Warfare Group, Naval Postgr. School, USA Monterey, CA 93942)
- [5] «Detection Technologies for Mines and Minelike Targets - SPIE Orlando Conference», April 1995, SPIE Volume 2496, 1020p., ISBN 0-8194-1852-8 (SPIE fax +1 360 647-1445)
- [6] «Workshop on Antipersonnel Mine Detection and Removal», Lausanne, June 1995, 74p. (LAMI-EPFL, CH-1015 Lausanne)
- [7] «Mines terrestres: une action s'impose, Le droit international humanitaire» CICR 1994, 42p.
- [8] «Landmines, A Deadly Legacy», Physicians for Human Rights, New-York, 1993, 510p., ISBN 1-56432-1134
- [9] NICOUD, J.-D., MÄCHLER, PH.: «Demining Robots», IAS-4 Conference, Karlsruhe, March 1995
- [10] NICOUD, J.-D., MÄCHLER, PH.: «Robots for Anti-personnel Mine Search », IAV'95 Conference, Espoo, June 1995
- [11] NICOUD, J.-D., HABIB M. K.: «Autonomous Demining Robots: Navigation Strategies», IROS'95, Pittsburgh, August 1995