

DEMICHAIN

Inventé par Jacques DEMICHELIS, DEMICHAIN est un nouveau concept de déminage mécanique.

Il consiste à faire tomber en **chute libre** un assemblage de chaînes pesantes sur le sol à déminer. Les forces générées dans le sol par la chute des chaînes déclenchent l'explosion des mines actives.

Ce dispositif accroîtra considérablement le champ d'application du déminage mécanique, car il est peu cher, très souple d'utilisation et peut être efficace sur de nombreux types de sols (terrains très inégaux, fossés, pierres et petits rochers, pentes, chemins, barbelés, clôtures, ...).

Notre association est actuellement le seul organisme étudiant ce concept. Les prototypes récemment construits permettent d'étudier ses conditions d'emploi et de préparer des essais qualificatifs sur mines réelles.



Dans une fraction de seconde, la nappe de chaînes du prototype en chute libre frappe le sol et exerce des forces puissantes sur toute la surface du sol situé sous la nappe de chaînes. Les mines qui seraient enterrées dans ce sol subiraient une force suffisante pour déclencher leur explosion.

L'ARTID développe un nouveau concept de déminage consistant à laisser tomber en chute libre une nappe de chaînes lourdes sur une surface donnée d'un sol à déminer. Etant donné que les dimensions de la nappe de chaînes sont d'un ordre de grandeur supérieures à la profondeur du déminage à effectuer et que la nappe de chaînes constitue une masse uniformément répartie, l'impulsion mécanique communiquée au sol est uniformément répartie et on peut escompter que les contraintes générées dans le sol seront uniformes et verticales, car les contraintes latérales n'entreront en ligne de compte que pour des profondeurs de plusieurs m. Il est donc justifié de poser l'hypothèse simplificatrice du **comportement monodimensionnel** des phénomènes produits dans la zone d'intérêt de quelques dizaines de cm.

Modélisation simplifiée

Le compactage dynamique consiste à réaliser des chutes successives de masses importantes sur le sol, afin d'obtenir des sols plus denses et à caractéristiques mécaniques améliorées (voir le procédé MENARD¹ par exemple). La modélisation des contraintes et tassements produits par la collision d'une masse uniformément répartie sur un sol a été réalisée dans ce cadre. Une modélisation monodimensionnelle est décrite par R. A. SCOTT et R. W. PEARCE² et appliquée à des situations comparables à celles d'intérêt pour le déminage : avec des hauteurs de chute modestes, des chutes répétées produisent une zone de sol compacté dont l'épaisseur augmente. Nous nous restreindrons à la première phase du processus, c'est-à-dire à l'obtention de contraintes élevées dans le sol.

On pose :

V = vitesse de la masse M , répartie sur une surface A

x : déformation du sol sous l'effet de l'impact

E_s : module dynamique de déformation du sol (module d'élasticité dynamique)

n : coefficient de Poisson

h : hauteur de chute, accélération de la pesanteur g

r : masse volumique

c : vitesse du son dans le sol

s : contrainte à la surface du sol (en monodimensionnel, seule la contrainte dans l'axe vertical est prise en compte)

Après les premiers instants de la collision, on peut admettre avec R. A. SCOTT et R. W. PEARCE que la contrainte initiale à la surface est donnée par :

$$s_0 = r c V \quad (1)$$

L'élasticité du sol est représentée par S , équivalent à la constante du ressort,

$$S = 2 a E / (1 - n^2) \quad (2)$$

L'amortissement résultant de l'absorption d'énergie par les ondes de contrainte dissipées dans le sol est défini par :

$$R = A r c \quad (3)$$

La contrainte de surface est équilibrée par l'élasticité du sol (proportionnel à la déformation du sol x) et l'amortissement (proportionnel à la vitesse de déformation du sol dx/dt) :

$$A s = R dx/dt + S x \quad (4)$$

¹ M. MENARD "la consolidation dynamique des sols de fondation" conférences ITBTP (1974)

² R. A. SCOTT, R. W. PEARCE "Soil Compaction by Impact", Institution of Civil Engineers: Symposium Report (1976)

Cette contrainte de surface résulte de la décélération de la masse M : $-M (d^2x/dt^2)$

L'équation de mouvement de cette masse s'écrit :

$$M (d^2x/dt^2) + R dx/dt + S x = 0 \quad (5)$$

On définit $w^2 = (S/M - R^2/4M^2)$ w la fréquence angulaire de résonnance libre de la masse M .

Si on est proche de la résonnance (w très petit, $S \sim R^2/4M$), on peut utiliser la forme plus simple :

Avec $t = 2M / A c r$ constante de temps

$$x = V^*t * \exp(-(A r c / 2M)t) = V^*t * \exp(-t / t) \quad (6)$$

$$s = r c V * \exp(-(A r c / 2M)t) * [1 - A r c t / 4M] \quad (7)$$

$$s = r c V * \exp(-t/t) * [1 - t/2t]$$

On peut faire quelques remarques :

La vitesse du son c , qui intervient à la fois en facteur multiplicatif dans la contrainte et au dénominateur de la constante de temps t dans le sol varie très fortement avec le degré de saturation en eau du sol : pour un sol non compacté et non saturé on a $c = 160$ m/s ; pour un sol saturé en eau, c atteint 1000 m/s. Il est difficile de faire des prévisions quantitatives, car la vitesse du son dans le sol est très délicate à mesurer (il en va de même pour le module d'élasticité).

Parmi les paramètres du concept DEMICHAIN, le niveau de contrainte initiale dépend uniquement de la vitesse de chute lors de la collision, c'est-à-dire de la hauteur de chute des chaînes. Il ne dépend pas de la masse. Celle-ci intervient dans la durée à mi-hauteur de la contrainte ($t^{1/2} = 0,44 M / s c A$).

On peut appliquer ces calculs au concept DEMICHAIN, pour lequel quelques valeurs caractéristiques du prototype sont présentées ci-après.

Pour une hauteur de chute de 3 m, la vitesse V est de 7,8 m/s. La masse M est de 1300 kg pour une surface A de 7 m². L'énergie spécifique au cours de la chute d'une nappe de chaînes est de l'ordre de 5500 J/m².

Si on prend en considération un sol non saturé en eau, on calcule d'après (1) une contrainte initiale à la surface de l'ordre de $2,5 \cdot 10^6$ N/m².

La constante de temps de l'exponentielle t est d'environ 1 ms ; la durée à mi-hauteur de la contrainte en surface sera de l'ordre de la demi-milliseconde.

On peut estimer que, pendant une fraction de milliseconde, la contrainte à quelques cm sous la surface sera de l'ordre de 10^6 N/m².

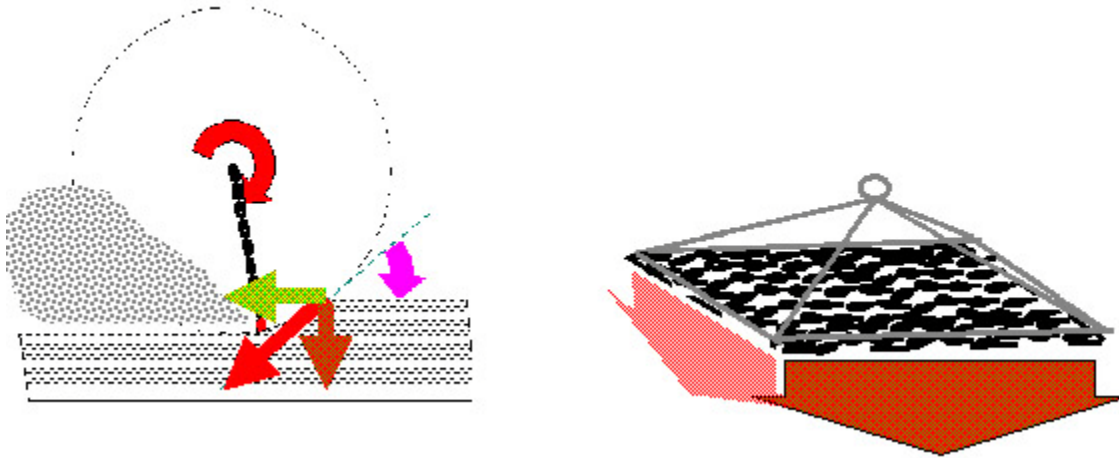
Pour un plateau de pression de 10 cm², la force sera de 1000 N ; pour un plateau de 100 cm², la force sera de 10000 N. Ces forces sont très nettement supérieures aux forces nécessaires pour déclencher une mine.

Il est plus difficile de discuter la durée pendant laquelle les forces s'exercent sur un plateau de pression enterré.

Il faut noter que, pour des contraintes de l'ordre de 10^6 N/m², on dépasse la limite élastique (située vers $3 \cdot 10^5$ N/m²) et une partie de l'énergie sert à compacter le sol. Dans ce sol compacté, le module d'élasticité et la vitesse du son vont augmenter (augmentation de la contrainte en surface) ; par contre, les déplacements seront plus faibles. Certaines mines, dans lesquelles le plateau de pression subit un déplacement important avant d'autoriser l'amorçage, risquent de ne plus être amorcées.

René Joecklé

Comparaison fléaux - DEMICHAIN

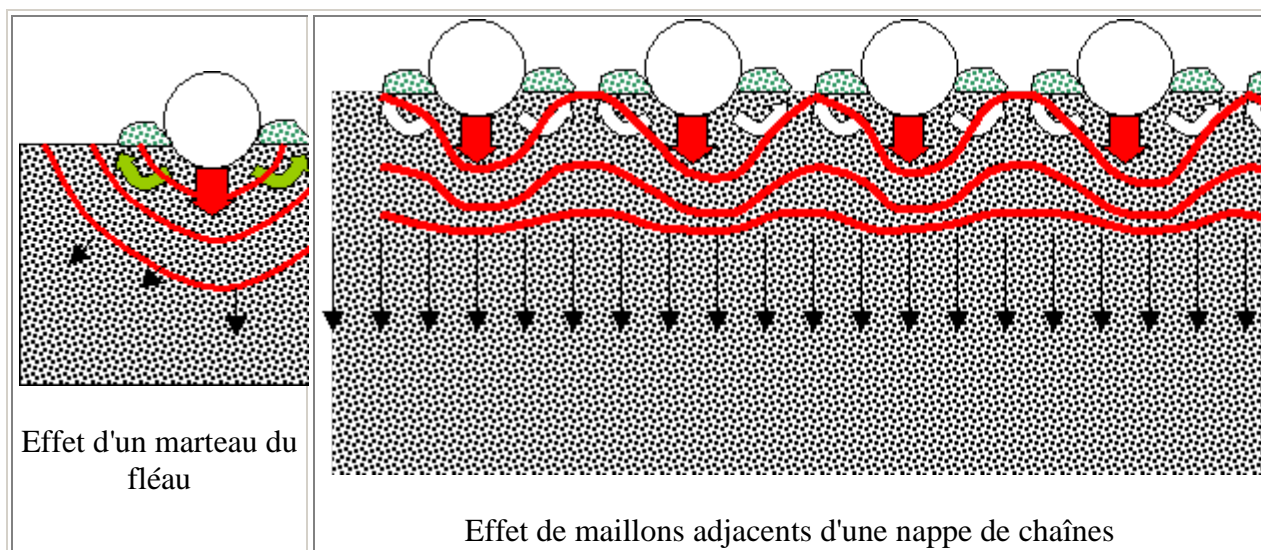


Héritages du déminage militaire de la deuxième guerre mondiale, les fléaux sont des engins de déminage, qui malgré leurs inconvénients sont fréquemment utilisés sur les chantiers de déminage.

Ils sont composés d'un axe horizontal autour duquel sont fixées des chaînes. Cet axe tourne à une vitesse d'environ 10 tours/seconde. Au bout de chaque chaîne est fixé un "marteau", qui constitue l'élément actif du système : c'est lui qui frappe le sol lorsque l'axe en rotation entraîne les chaînes.

Le système creuse pratiquement le sol sur une certaine profondeur. Du fait de l'angle d'attaque réduit du "marteau" sur le sol, les mines sont frappées sur le côté et une proportion importante de mines ne sont pas déclenchées, mais simplement déplacées (elles ne sont alors plus horizontales).

Chaque marteau agit de façon indépendante. La pression générée dans le sol diminue très rapidement avec la profondeur.



Le système des fléaux doit être comparé à DEMICHAIN, dont le seul point commun avec les fléaux est d'être constitué de chaînes. A l'inverse de l'action localisée et individuelle de chaque marteau, les maillons adjacents de la nappe de chaînes touchent le sol pratiquement simultanément. Les chocs se combinent entre eux pour former une onde (plane) qui est atténuée très progressivement en profondeur (compaction)

Points à comparer	Fléaux	DEMICHAIN
Angle d'attaque au sol	Faible	Perpendiculaire
Éléments actifs	Extrémité de la chaîne (marteau)	Tous les maillons de la chaîne
Action (analogie)	Creusement du sol analogue à celui produit par une binette (ou houe) lors du sarclage	Frappe verticale analogue à celle d'un pas (ou de la planche de plombage du jardinier)
Effet sur une mine	Provoque souvent la cassure ou le déplacement avec une assise qui n'est plus horizontale	Produit le déclenchement du dispositif d'amorçage de la mine, donc l'explosion de celle-ci
Effet sur le sol	Destruction de la couche d'humus, nuage de poussière	Léger tassement
Planéité du sol	Efficacité très variable avec la planéité	Insensible aux irrégularités du sol
Présence de pierres, souches d'arbres, barbelés, piquets, petits rochers	Pour ne pas risquer la destruction du système, les fléaux ne sont pas mis en œuvre	Fonctionne sans problème (adapter la longueur des brins à la taille des obstacles)

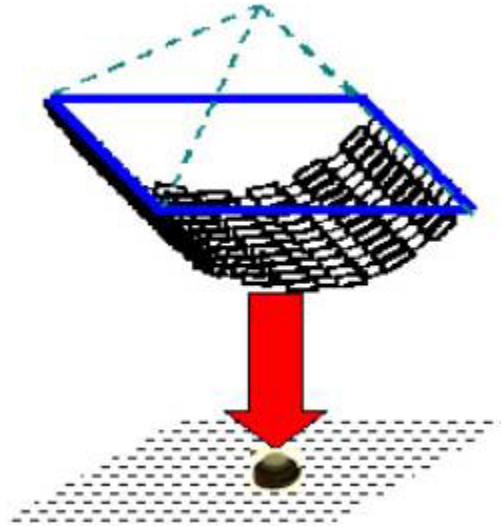
Souplesse	Aucune	Totale (dimensions adaptables au problème / sol et au porteur disponible)
Porteur	Doit être puissant, est spécialisé	Doit pouvoir lever à la hauteur prescrite, non spécialisé
Système	Spécialisé, sophistiqué	Outil adaptable à tout engin de levage blindé (déjà disponible sur les chantiers de déminage)
Constructeur	Entreprise spécialisée	N'importe quel atelier local le réalise
Coût	quelques 100 k€ à quelques M€	(hors porteur) quelques milliers d'EURO (les chaînes coûtent 1 EURO par kg)
Entretien, réparations	Considérable, élément clé de l'utilisation du système	Nul, insignifiant (hors porteur, généralement bien acclimaté)
Type de chantier	Grandes surfaces planes et dégagées	Tout type de surfaces (sauf arbres)

Il faut cependant bien remarquer que les fléaux fouillent le sol sur une certaine profondeur, donc interagissent avec tout type d'engin explosif.

DEMICHAIN par contre n'agit que sur les mines actives (amorçées et armées). Un terrain traité par DEMICHAIN est exempt de mines, mais non d'engins explosifs. On peut le parcourir sans danger, mais le travail du sol peut exhumer des engins explosifs.

Avantages de DEMICHAIN

Lorsqu'on le compare aux autres procédés de déminage mécanique (fléaux, fraises, rouleaux), le dispositif DEMICHAIN présente plusieurs avantages :



- L'impulsion mécanique qui est communiquée au sol lors de la chute de chaînes pesantes exerce des forces **verticales** sur le sol et toutes ses composantes : végétation, fils de trébuchement, mines. La végétation est écrasée par la première chute et l'impulsion mécanique des chutes suivantes est transmise au sol. Ces forces verticales ont une direction d'effort correspondant au fonctionnement des mines déclenchées par pression.
- la structure est très déformable, ce qui permet de s'adapter à des **reliefs de terrain irréguliers ou difficiles d'accès**. Cette caractéristique promet des performances très supérieures à celles des dispositifs à fléaux, dont la tolérance aux irrégularités du terrain est réduite. Le dispositif n'est pas altéré par la présence d'obstacles solides (**pierres, rochers, souches, fil de fer barbelé**) qui interdisent l'emploi des fléaux.
- la structure est perméable au souffle de l'explosion, elle absorbe les chocs lors d'une explosion tout en étant capable de retenir des éclats massifs ou projections diverses (pierres par exemple). Les chaînes résistent parfaitement aux explosions de mines antipersonnel (notons que le comportement de DEMICHAIN lors de l'explosion d'une mine antichar est à étudier. Il doit être proche de celui des chaînes équipant les fléaux).
- Du fait du frottement important du marteau dans le sable, les **fléaux subissent une érosion importante** lors de leur emploi dans un **sol sablonneux**. Ce ne sera pas le cas de DEMICHAIN, qui chute verticalement et qui ne pénètre pas dans le sol.
- DEMICHAIN n'est pas cher, simple, s'adapte sur tout engin de levage, est modulable en fonction des performances de celui-ci, du sol et des mines à traiter. Il s'agit en toute rigueur d'un "**OUTIL**" adaptable à tout engin de travaux publics **blindé contre les éclats**, tels ceux

en usage sur les chantiers de déminage. Il est facilement réalisable dans les pays en voie de développement, par les centres de déminage eux-mêmes.

Domaines d'emploi de DEMICHAIN

DEMICHAIN déclenche les mines armées, qui sont prêtes à fonctionner sous l'action d'une force verticale. Il est sans effet sur les mines dont le dispositif de mise à feu est hors d'usage, ou inactif (sol très dur, mine en position verticale). Il n'agit pas non plus sur les munitions non explosées. Un terrain traité par DEMICHAIN est sécurisé pour les déplacements à pied et en véhicule, mais il peut contenir des engins non explosés (UXO, mines détériorées), qui ne sont pas en situation d'exploser en cas de passage à leur aplomb.

Ceci peut ne pas satisfaire les exigences d'une dépollution totale d'un terrain.

Aussi faut-il bien préciser les conditions dans lesquelles DEMICHAIN peut être utilisé.



Un grand domaine d'emploi de DEMICHAIN peut être la **réduction de zone**, qui permet de cerner les zones réellement minées afin d'appliquer uniquement à celles-ci les techniques de déminage lentes et coûteuses du déminage manuel.

La recherche de **munitions non explosées** est facilitée sur un terrain traité par DEMICHAIN du fait que la menace des mines antipersonnel actives est éliminée, ce qui permet une recherche de masses métalliques plus rapide et plus sûre.

Le traitement de **zones difficiles** et/ou peu fréquentées peut se limiter à un traitement restreint aux mines actives.

Les procédés de déminage mécanique exigent un **contrôle de qualité** très strict, car un pourcentage non négligeable de mines actives subsiste dans le sol. DEMICHAIN peut remplir ce rôle de contrôle de qualité.

Enfin, la **dépollution en grande profondeur** des terrains sablonneux est possible avec DEMICHAIN car on peut augmenter l'impulsion mécanique (contrainte maximum, durée) en accroissant la hauteur de chute et la densité de masse de chaînes. Le déminage des déserts est alors possible, surtout que, au contraire des fléaux, les chaînes de DEMICHAIN ne subissent pas d'érosion.

ETUDE DE DEMICHAIN

Moyens d'essais

Les moyens d'étude de l'efficacité de DEMICHAIN sont décrits ci-après. Les dispositifs DEMICHAIN construits peuvent être intégrés par la suite dans des dispositifs de déminage, sous réserve de disposer d'un engin de levage blindé apte à lever l'assemblage de chaînes, à le lâcher en chute libre et à le récupérer après la chute.

1°) - Dispositifs DEMICHAIN

Deux assemblages de chaînes ont été construits :

Terminé en juin 2005, le montage "lourd" est mis en oeuvre par une grue louée. Le terrain (une ancienne gravière) est composé de remblais divers, majoritairement sablonneux. Les essais et mesures ont commencé en juin 2006, lorsque les détecteurs ont été disponibles. Un nombre restreint d'essais a été effectué, en particulier sur des détecteurs enterrés sous 45 cm de terre.

[Autres photos : cliquer ici](#)



le prototype "lourd" et Michel SAMIRANT

Terminé en septembre 2006, un montage "léger" est mis en oeuvre dans une exploitation agricole par un bras hydraulique accessoire d'un tracteur moyen. Le montage actuel permet de faire des mesures, mais n'est pas représentatif d'un système opérationnel.. Le terrain pour les premiers essais consiste en une prairie (terre végétale). Ci-contre, les détecteurs ("mines de mesure") sont enterrés sous la zone de chute des chaînes et l'électronique de contrôle et reliés par les cable électriques à la boîte électronique de contrôle . C'est ce dispositif (amélioré en juillet 2008) qui sera utilisé lors des essais à l'ETBS sur mines d'exercice.

[Autres photos : cliquer ici](#)



le prototype "léger", version améliorée

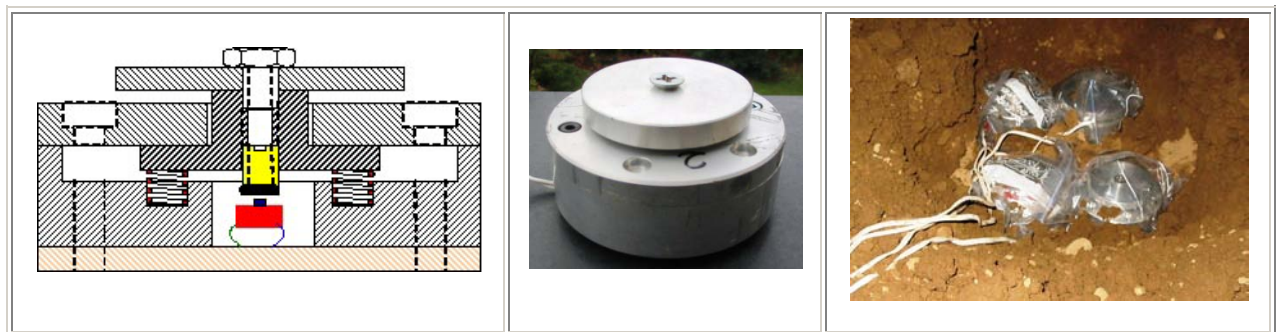
Caractéristiques des montages :

	DEMICHAIN "lourd"	DEMICHAIN "léger" ou "agricole"
masse de chaînes	1300 kg	400 kg
surface de la nappe de chaînes	2,5 m X 2,8 m (7 m ²)	1,75 m X 2 m (3,5 m ²)
masse linéaire des chaînes /espacement	9 kg/m / 5,2 cm	6 kg/ m / 5,2 cm

2°) - Mines de mesure

Afin d'étudier le fonctionnement de DEMICHAIN et d'établir les paramètres d'emploi du concept, nous avons construit un dispositif de mesure à base de "mines de mesure" qui indiquent lorsque la force exercée sur ce plateau dépasse une valeur donnée (de 130 à 160 Newtons, soit 13 à 16 kgf).

6 ressorts sont disposés sous le piston solidaire du plateau de pression extérieur et sont précontraints par l'enveloppe du dispositif. Lorsque la force exercée sur le plateau de pression dépasse une valeur donnée, le piston s'enfonce et ferme le microcontact. On enregistre cette fermeture (de courte durée) par une électronique. Dix "mines de mesure" ont été ainsi réalisées. Le plateau de pression est amovible, son diamètre varie entre 4 et 9 cm, de façon à simuler la plupart des mines. Les mines de mesure sont enfermées dans un sac plastique étanche et enterrées sous une hauteur de terre variable.



Exposé succinct des résultats

Durant l'automne 2006 et l'hiver 2007, une campagne de mesures a été réalisée avec le prototype "agricole" ou "léger" à RANSPACH-le-BAS. L'ARTID tient à remercier Monsieur Gilbert SCHURRER et son fils François, qui ont mis à notre disposition avec patience et enthousiasme quelques coins de leur ferme, leur tracteur et surtout leur patience, leur bonne volonté et leur temps. Le but a été d'équiper le sol de détecteurs de pression (appelés aussi "mines de mesure") et de faire des chutes libres afin de mesurer l'aptitude du concept DEMICHAIN à déclencher les mines enterrées. Sauf à de rares exceptions, la profondeur d'enterrement a été de 20 cm (hauteur de terre entre le haut du détecteur et la surface du sol). Les conditions expérimentales étaient :

- en général, sol de prairie (verger), fréquemment gorgé d'eau
- sol plat
- ornière de environ 30 cm de profond
- cailloux de 10 - 20 cm
- sable
- gravier

Les hauteurs de chute étaient de 2,5 m à 3 m, sauf pour le sable et le gravier (ces essais ont été effectués sur des tas de sable et de gravier, dont l'épaisseur réduisait la hauteur de chute possible).

Les résultats sont généralement positifs, les détecteurs sont déclenchés par la chute.

Essais sur mines réelles

Pour que des démineurs puissent se servir de notre outil DEMICHAIN pour éradiquer les mines en des endroits où d'autres techniques sont difficiles à utiliser, il est indispensable que cet outil prouve son efficacité. **Il faut faire des essais sur mines réelles.**

Nous avons prospecté début juillet 2005 une possibilité de procéder à des essais du système DEMICHAIN sur mines réelles : il s'agit d'aller en CROATIE, dans un établissement appelé [CTRO](#) (centre d'essais des techniques de déminage) pour effectuer des essais sur mines réelles. Ce centre d'essais (créé par le centre croate du déminage, ou [CROMAC](#)) est affilié aux centres d'essais européens (réseau [ITEP](#)) ; il a les compétences pour effectuer ce genre d'essais et est habilité pour délivrer des certifications, ce qui qualifie la technique de déminage et permet aux démineurs de l'utiliser à bon escient.

Les contacts de notre Président René JOECKLE avec le Directeur du CTRO Nikola PAVKOVIC ont permis d'esquisser une campagne d'essais sur mines réelles (mines antipersonnel PMA1, PMA2 et PMA3) de 3 semaines, comportant un programme détaillé d'essais sur plus de 100 mines réelles, avec un engin de levage blindé (firme DOK-ING). Le CTRO prend en charge les frais de personnel et d'infrastructure qui lui sont propres. Certaines prestations restent à notre

charge, pour un coût de plus de 17 000 EURO. Malgré le grand intérêt d'une telle proposition, nous ne pouvons actuellement pas l'assumer.

En France, la capacité technique d'effectuer de tels essais se trouve dans le Ministère de la Défense, à la DGA (Délégation Générale de l'Armement) et plus précisément à l'ETBS (Etablissement Technique de Bourges). Nous avons demandé à la DGA d'effectuer des essais de DEMICHAIN sur mines réelles. Le coût d'une telle campagne d'essais est très élevé. La France est dotée d'une commission s'occupant du déminage : la CNEMA (Commission Nationale pour l'Elimination des Mines Antipersonnel), dont Monsieur le Député François ROCHEBLOINE est membre. Début Décembre 2007, celui-ci a obtenu une entrevue avec Monsieur Hervé MORIN, Ministre de la Défense. R. JOECKLE a pu ainsi montrer le besoin de l'ARTID d'effectuer des essais sur mines réelles. Le Ministre a compris l'intérêt de ces essais et a demandé qu'une campagne d'essais sur mines réelles soit effectuée par l'ETBS et l'ARTID afin de montrer l'intérêt de DEMICHAIN et de "contribuer ainsi à la mise en oeuvre (...) d'un dispositif à caractère humanitaire, qui s'inscrit dans les engagements pris par la France dans le cadre du traité d'Ottawa"

ARTID : essais à Bourges

Monsieur MORIN, Ministre de la Défense, a décidé d'octroyer une campagne d'essais gratuite du dispositif DEMICHAIN dans un Etablissement de la Défense : l'ETBS à Bourges. Il est spécifié que ces essais auront lieu sur des mines d'exercice : il s'agit de mines réelles dans lesquelles l'explosif est remplacé par un dispositif fumigène.

Nous avons adapté le prototype "léger" en le dotant d'un nouveau cadre de suspension.

Le déroulement de ces essais est articulé en deux phases ; alors que la seconde (de deux semaines) est prévue au printemps 2009, la première s'est déroulée les 9 et 10 septembre 2008. Ces essais sont effectués sur des mines d'exercice françaises (MiAPDVX59). Les mesures de sécurité sont de ce fait notablement allégées et le nombre possible d'essais est de l'ordre d'une dizaine par demi-journée.



Les deux photos ci-contre montrent :

- à gauche la fumée s'échappant de la mine d'exercice percutée par la chute de DEMICHAIN
- à droite la mine d'exercice MiAPDVX59 (de couleur bleue comme tous les matériels militaires d'exercice), surmontée d'une rondelle augmentant la surface du plateau de pression.

Au cours de ces deux journées, on a pu établir que DEMICHAIN est efficace sur des mines disposées en surface, mais pas sur des mines enterrées (malgré une hauteur de chute de 6 m).

En augmentant la surface du doigt de pression, on a pu montrer que DEMICHAIN était alors efficace (ce qui signifie que DEMICHAIN sera efficace sur la grande majorité des mines).

