

AACEN 15044:2009 ; Complément 2**Retour d'Expérience**

**Test et évaluation de l'équipement de déminage
mécanique selon l'accord d'atelier du CEN
(AACEN 15044:2004, remplacé par AACEN 15044 :2009)**

**2^{ème} Partie: Interprétation des mesures de la
profondeur de pénétration dans le sol
(dernière actualisation en date du 2 avril 2009)**

Table des matières

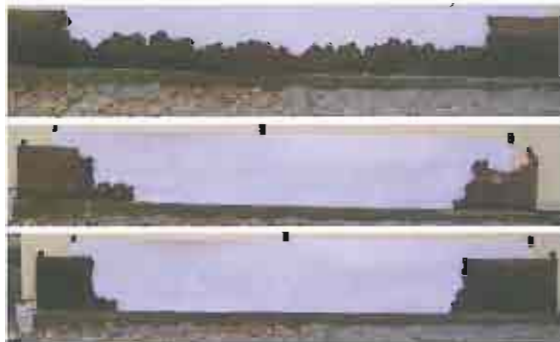
Contexte.....	2
Emplacements pour la mesure de profil du sol	3
Interprétation et présentation de la mesure du profil du sol.....	4
Introduction.....	4
Profondeur Effective Maximale (PEM)	5
Efficacité de Pénétration (EP)	8
Méthodes de calcul de la PEM et de l'EP.....	10

Contexte

Les informations obtenues, que ce soit par une mesure directe ou indirecte, de la profondeur de pénétration dans le sol peuvent fournir une évaluation subjective, si on se limite à l'utilisation de photographies des panneaux de bois aggloméré (voir document 1), ou des graphiques rapportant les données obtenues (voir document 2). Ces informations montrent les capacités de pénétration dans le sol des engins mécaniques et permettent à l'utilisateur d'évaluer la machine selon des conditions opérationnelles données.

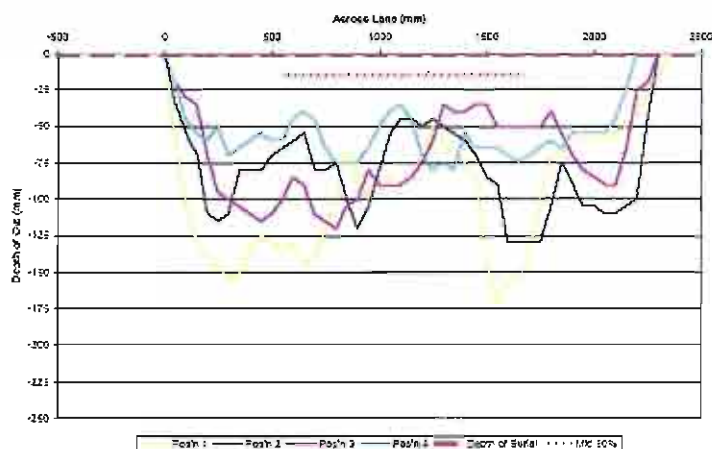


(a)



(b)

Document 1: Profils de pénétration du sol obtenus par panneaux de bois aggloméré
(a) dans la couche arable avec des mines enterrées à 0 cm de profondeur,
(b) dans du gravier avec des mines enterrées à 15 cm de profondeur



Document 2: Profils de pénétration du sol obtenus par mesures directes. Les profils ont été mesurés à 4 emplacements différents du couloir de test.
(axe des abscisses : largeur du couloir ; axe des ordonnées : profondeur de la découpe)

Cependant, il est utile dans beaucoup de cas, particulièrement pour les tests de performance, d'être en mesure d'évaluer les caractéristiques de profondeur de pénétration dans le sol d'un engin mécanique pour des conditions données (type de sol, profondeur de la cible). Il n'y a pas encore de méthode universelle pour évaluer les informations de la mesure de la profondeur de pénétration dans le sol. Différentes mesures, comme la profondeur de pénétration minimale, la profondeur de pénétration moyenne, l'efficacité de pénétration etc... ont été utilisées par le passé. Dans les paragraphes ci-dessous, quelques paramètres quantitatifs sont examinés, dont deux considérés comme les plus à même de représenter les informations obtenues lors des mesures de la profondeur de pénétration dans le sol.

Lors de l'analyse et de la présentation des données sur la profondeur de pénétration dans le sol, il est important d'indiquer la largeur de terrain traitée par l'engin.

Emplacements pour la mesure du profil du sol

Le AACEN 15044 précise que seule la moitié centrale de la largeur de l'outil est utilisée pour poser les mines cibles lors du test de performance. Il y a deux raisons principales pour cela :

- Si les mines cibles sont localisées sur toute la largeur de l'outil, d'infimes erreurs de pilotage peuvent conduire à ce que des mines se retrouvent hors du tracé de la machine. Dans ce cas, c'est la combinaison de la performance de l'opérateur et de celle de la machine qui est mesurée plutôt que seulement celle de la machine.
- Avec les fléaux, les bords de la coupe ne sont généralement pas droits mais plutôt arrondis ou présentant une courbure, comme c'est le cas dans le document 3. Les cibles qui sont très proches des bords du fléau sont normalement traitées lors des prochains passages de la machine, qui se recoupent toujours afin qu'aucune zone ne soit occultée et que cette condition ne crée pas de zone négligée. L'AACEN 15044 prend ce phénomène en compte et limite la présence des cibles à la moitié centrale de la largeur de l'outil.

Dans un souci de cohérence, il est suggéré que les mesures de profondeur de pénétration dans le sol soient analysées sur cette moitié centrale de la largeur de l'outil.



Figure 3: Bords courbés réalisés par l'impact du fléau

Interprétation et présentation de la mesure du profil du sol

Lorsqu'un engin de déminage (fléau ou fraiseuse) attaque uniformément et à maintes reprises jusqu'à une certaine profondeur, on peut être sûr que les mines seront au moins déclenchées par les marteaux. Par contre, les mesures de la profondeur de pénétration dans le sol décrites dans le document 4 montrent des cas hypothétiques dans lesquels la machine n'a pas réussi à attaquer de façon uniforme à une certaine profondeur et a donc oublié des mines. Les quatre exemples de cette figure montrent clairement des niveaux différents de performance, et il est important, quand un paramètre quantitatif est utilisé, qu'il reflète ces différents niveaux de performance.

Un moyen de quantifier la performance à partir des mesures de la profondeur de pénétration dans le sol serait de relever simplement la profondeur minimale atteinte. Dans ce cas, les deux premiers graphiques indiqueraient la même performance, avec une profondeur atteinte égale à zéro. On obtiendrait une profondeur de 10cm pour le troisième graphique et 1cm pour le quatrième. Bien que simple, cela ne peut pas être une façon très significative de quantifier la performance de pénétration dans le sol. La profondeur maximale a même encore moins de valeur dans ce cas. De même, la profondeur moyenne est facile à calculer et à comprendre, mais le document 4 indique que cela ne s'avère pas particulièrement utile.

Une autre méthode pourrait être le calcul de la quantité de terre déplacée, puis le calcul de la quantité restante. Pour les graphiques 1, 2 et 3 du document 4, la profondeur maximale se trouve être de 25cm. Si l'on suppose que la largeur totale est de 100cm, la quantité totale de terre qui aurait été déplacée (comme on peut le voir sur cette vue de profil) serait de 2500 cm². Dans le graphique 1, il reste environ 1250 cm², donc seulement 50% de terre a été déplacée jusqu'à 25cm de profondeur. Il en est de même pour le graphique 2, sauf que seulement 30% de terre environ a été déplacée jusqu'à 25cm de profondeur. Dans le graphique 3, environ 90% de terre a été déplacée sur 25cm de profondeur, mais 100% de la terre a été déplacée à 10 cm de profondeur. Le graphique 4 pourrait faire l'objet d'une étude similaire. C'est une manière relativement facile d'évaluer la profondeur de pénétration dans le sol durant un scénario test, mais une fois encore, cela se révèle peu significatif. Aucune de ces méthodes ne prend en compte la possibilité que des mines soient cachées dans les irrégularités du traitement.

Par conséquent, deux paramètres, la **profondeur effective maximale (PEM)** et l'**efficacité de pénétration (EP)** sont proposés comme plus utiles pour évaluer les mesures de la profondeur de pénétration dans le sol dans la zone de test. Ces deux paramètres évaluent la performance de la profondeur de pénétration en étudiant l'endroit où une mine pourrait échapper à un outil mécanique, c'est-à-dire dans quelle mesure l'outil élimine les emplacements où les mines échapperaient aux marteaux du fléau (ou à d'autres éléments telles que les dents d'une fraiseuse). Ces paramètres sont relativement faciles à obtenir et ont un intérêt direct pour les besoins des démineurs et/ou des utilisateurs des engins.

La Profondeur Effective Maximale (PEM)

(Se référer au document 5).

Prenons l'exemple d'une mine ayant les dimensions d'une mine cible antipersonnel répertoriée dans le AACEN 15044 ; le profil dans le graphique 1 serait évalué à une profondeur de 25cm. N'importe quelle mine enterrée à moins de 25 cm entrerait en contact avec la tête du marteau et serait soit déclenchée, soit endommagée. Au-delà de cette profondeur, les mines échapperaient à la tête du marteau.

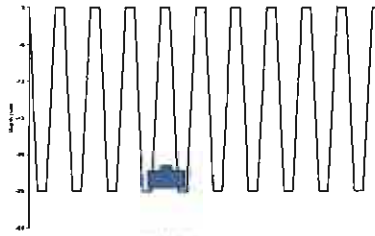
Le graphique 2 présente trois possibilités. La mine bleue commence juste à sortir de la zone d'efficacité située à environ 12cm de profondeur. La mine rouge, située à environ 5 cm de profondeur, a ses coins exposés ; et la mine jaune, dont la majeure partie est encore cachée mais dont le détonateur est visible, est située à 0 cm de profondeur. Le choix de l'une de ces trois profondeurs dépendra de l'estimation de la probabilité que la mine soit endommagée selon l'exposition d'une petite partie seulement de ses composants.

Le graphique 3 est un peu plus facile à appréhender ; la mine reste entièrement cachée jusqu'à ce que le détonateur apparaisse à 10cm de profondeur.

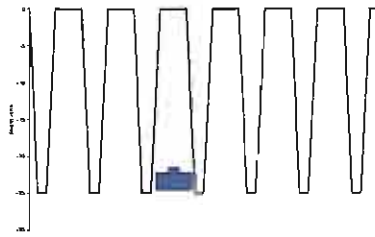
Enfin, dans le graphique 4, la mine bleue commence à apparaître à environ 15 cm de profondeur, mais on peut se demander si elle serait endommagée avec seulement un côté exposé. Il est certain que la mine rouge, située à 11cm de profondeur, serait déclenchée ou broyée.

La **Profondeur Effective Maximale (PEM)** se définit comme la profondeur minimale à laquelle les mines restent hors d'atteinte dans leur environnement. En d'autres termes, si une machine a traité une partie du sol à une profondeur équivalente ou supérieure à 10cm, mais n'a opéré sur certaines zones qu'à seulement 6cm de profondeur, la profondeur effective maximale sera alors de 6cm. Du point de vue du démineur, c'est peut-être l'une des mesures de performance les plus utiles, car elle lui permet de faire confiance aux résultats jusqu'à cette profondeur-là.

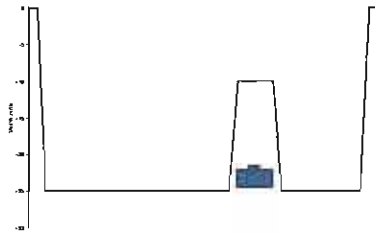
Exemple de profil en profondeur (exemple n°1)



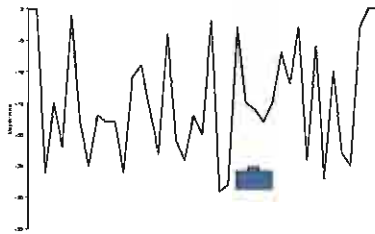
Exemple de profil en profondeur (exemple n°2)



Exemple de profil en profondeur (exemple n°3)

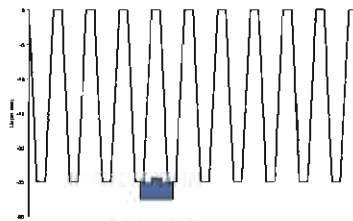


Exemple de profil en profondeur (exemple n°4)

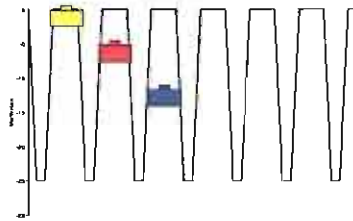


Document 4: exemples hypothétiques de mesures de la profondeur
De pénétration dans le sol
(axe des ordonnées : profondeur en cm)

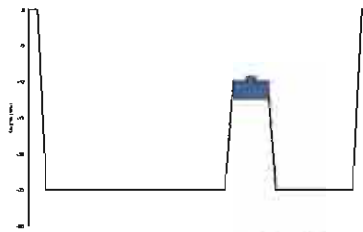
Exemple de profil en profondeur (exemple n°1)



Exemple de profil en profondeur (exemple n°2)



Exemple de profil en profondeur (exemple n°3)



Exemple de profil en profondeur (exemple n°4)



Document 5: Illustration de la Profondeur Effective Maximale (PEM) à travers des exemples hypothétiques de mesures de la profondeur de pénétration dans le sol (axe des ordonnées : profondeur en cm)

Effacité de Pénétration

La définition de la profondeur effective maximale est pertinente et facilement comprise par le démineur, mais elle ne donne pas toutes les informations. Envisagez le cas où trois panneaux de bois aggloméré, pour la même machine, décrivent trois profils parfaitement identiques, réguliers et lisses, chacun mesuré à 25cm de profondeur, et un quatrième profil similaire mais présentant une zone hors de portée de 8cm de large jusqu'à la surface. Dans ce cas, cette petite zone hors de portée remet en cause les bonnes performances constatées et réduit la profondeur effective maximale à 0cm pour l'ensemble du test. Envisagez le cas d'une deuxième machine qui présente quatre profils uniformément médiocres, dans lesquels il n'y a pas eu de pénétration de plus de 3cm, et où la majeure partie du sol n'a pas été pénétrée du tout. On considérerait aussi que cette machine a une profondeur effective maximale de 0cm. En se référant uniquement à la profondeur effective maximale, les deux machines seraient dotées de la même capacité (nulle) de pénétration dans le sol.

Une deuxième méthode, complémentaire, pour évaluer et présenter les informations sur la pénétration dans le sol serait de voir avec quelle efficacité la machine assure la pénétration dans le sol jusqu'à une profondeur choisie. Cette profondeur peut être celle où les mines ont été enterrées pour le test ou toute autre profondeur d'intérêt, choisie au hasard. La même méthode est employée dans les deux cas.

Afin d'illustrer cette technique, considérez l'exemple décrit dans le document 6, qui montre quatre profils de pénétration provenant d'un test réel. Dans cet exemple, les mines ont été ensevelies à 10cm de profondeur. L'exemple évalue l'efficacité de pénétration à cette profondeur, indiquée par la ligne pointillée sur chaque profil. Comme précédemment, afin de maintenir une cohérence avec les emplacements de la cible définis par l'AACEN 15044, l'analyse est limitée à la seule moitié centrale de la largeur de l'outil de la machine, signalée par la ligne du haut au centre du profil. La même procédure serait répétée afin de faire l'analyse sur toute la largeur, ou pour effectuer la recherche à une profondeur différente.

Chaque graphique dans le document 6 donne, en superposition, les quatre profils de profondeur de pénétration dans le sol, mesurés lors du test d'une machine (couloir de test) et chacun des graphiques inclut le contour à l'échelle d'une mine cible de type « WORM » placée à la profondeur effective maximale.

- Le premier graphique montre la cible située à la profondeur effective maximale (PEM). La cible située à la PEM est également reproduite dans les autres graphiques. Pour chacun des profils, demandez-vous s'il y a un endroit sur ce profil où une mine enterrée à 10cm de profondeur pourrait échapper aux marteaux du fléau.
- Le second graphique examine le premier profil de la mesure de la profondeur de pénétration dans le sol, indiqué en jaune. Dans ce cas, la pénétration dans le sol de l'outil est suffisamment profonde tout au long de la moitié centrale de la largeur de l'engin pour qu'aucune mine enterrée à 10 cm de profondeur n'échappe au martèlement du fléau.
- Le troisième graphique examine le second profil, en bleu foncé. Dans ce cas, il y a une zone où les mines situées à 10cm de profondeur peuvent éviter les marteaux. Le contour d'une telle mine apparaît sur le côté gauche de la zone et un autre à droite, la double flèche montrant toute la largeur de la zone concernée.
- Graphique 4 : Le troisième profil, en violet, est ensuite présenté. Dans ce cas, il y a aussi une zone où des mines à 10cm de profondeur peuvent se cacher. Le contour de la mine à gauche est clair et celui sur la droite empiète sur la mine témoin à profondeur effective maximale. Encore une fois, la double flèche montre la largeur de la zone concernée.
- Enfin, le quatrième profil mesuré est indiqué par la ligne en bleu clair dans le graphique 5. Cette fois encore, deux formes de mine et une double flèche montrent la zone concernée.



Graphique 1 : cible localisée à la profondeur effective maximale : les mines de type « WORM » localisées à une profondeur inférieure sont déclenchées par l'outil de la machine



Graphique 2 : Déplacer une cible enterrée à 10cm de profondeur (à partir de la partie supérieure de la cible) sur la largeur du profil jaune montre qu'il n'y a pas d'endroit où une mine pourrait « se cacher »



Graphique 3 : Déplacer une cible enterrée à 10cm de profondeur (à partir de la partie supérieure de la cible) sur la largeur du profil bleu foncé montre qu'il y a des endroits où la mine peut « se cacher »



Graphique 4 : Déplacer une cible enterrée à 10cm de profondeur (à partir de la partie supérieure de la cible) sur la largeur du profil violet montre qu'il y a des endroits où une mine pourrait « se cacher »



Graphique 5 : Déplacer une cible enterrée à 10 cm de profondeur (à partir de la partie supérieure de la cible) sur la largeur du profil bleu clair montre qu'il y a des endroits où une mine pourrait « se cacher »

Document 6 : illustration de la notion d'Efficacité de Pénétration (cibles à 10cm de profondeur)

Les largeurs de chacune des zones d'intérêt sont mesurées et comparées, comme cela est montré dans le tableau 1 ci-après. Dans ce cas, les mesures sont en pixels, car elles ont été directement prises à partir des images digitales des photographies du panneau de bois aggloméré. Elles auraient tout aussi bien pu être mesurées directement en mètres, pouces ou toute autre unité de mesure, puisque les valeurs finales ne sont pas dépendantes des unités utilisées.

Dans cet exemple, il était possible que les mines à 10 cm de profondeur échappent aux marteaux du fléau sur 22% de la surface de la bande centrale. Inversement, la machine dans ce couloir test a réalisé la pénétration suffisante dans le sol pour garantir que, pour 78% de la bande du centre, aucune des cibles à 10 cm de profondeur n'échappe aux marteaux du fléau. D'où la $PE_{10} = 78\%$ pour ce couloir de test. De nouveau, la même analyse pourrait être effectuée sur toute la largeur de la bande, ou à d'autres profondeurs d'efficacité, pour le même ensemble de profils ; et parce que la valeur finale de la bande est un pourcentage, le choix des unités utilisées pour mesurer les largeurs n'a pas d'importance.

Tableau 1 : Efficacité de Pénétration – Exemple à partir du document 6 : cibles à 10cm de profondeur = EP 10

<i>Profil</i>	<i>50 % de part et d'autre du centre de la bande (pixels)</i>	<i>Largeur des zones hors d'atteinte (pixels)</i>	<i>Pourcentage des largeurs manquées (%)</i>
Profil n° 1	845	0	0%
Profil n°2	845	177	21%
Profil n° 3	845	150	18%
Profil n° 4	845	409	48%
Largeur totale	3380	736	22%
EP ₁₀ =78%			

L'**Efficacité de Pénétration** à une profondeur 'x' (EP_x) est la proportion de couloir traité qui permet à la machine de déclencher les mines à cette profondeur. Donc, si un profil montre que la profondeur de 20 cm est atteinte sur un total de 80% de la largeur de ce profil, l'efficacité de pénétration est EP = 80%. Avec les données de base pour la mesure de profil, l'efficacité de pénétration à n'importe quelle autre profondeur peut facilement être déterminée.

Méthodes de calcul de la PEM et de l'EP

En supposant que des panneaux de bois aggloméré sont utilisés dans un test, la façon la plus simple pour évaluer PEM et EP est d'utiliser une réplique en papier, à l'échelle 1, du profil de la mine. Trouver l'emplacement le moins profond où la mine peut se cacher est rapide et facile, et sa profondeur peut être mesurée directement à partir du panneau de bois aggloméré, donnant la Profondeur Effective Maximale (PEM). En plaçant une règle plate graduée à travers le panneau de bois aggloméré à la profondeur d'intérêt pour déterminer l'Efficacité de Pénétration (EP), la réplique en papier peut être placée aux endroits où la mine peut se cacher. La largeur de chaque emplacement peut être mesurée et présentée sous forme de tableau comme ci-dessus, pour fournir l'Efficacité de Pénétration pour cette profondeur.

Si beaucoup de tests ou profils doivent être évalués, il peut être utile de pouvoir les évaluer électroniquement. En principe, ceci peut être fait assez facilement:

- Prenez une photographie numérique du panneau de bois aggloméré ;
- A l'aide des nombreux programmes de traitement d'images disponibles, tracez les bords du panneau de bois aggloméré, et relevez les emplacements des pixels (x-y) le long des bordures ;
- Créez un tableur avec les fonctions nécessaires (équations) afin de comparer les valeurs des pixels (x-y) avec la taille de la mine pour obtenir la PEM et l'EP ;
- Importez les emplacements des pixels (x-y) dans le tableur.

Une procédure détaillée pour cette opération a été mise au point, et utilisée au moins à deux reprises (voir (1) et (2) ci-dessous). Les faits montrent que le traitement de la photo, la saisie des données et l'analyse du tableur, peuvent être réalisés en moins de 5 minutes par panneaux de bois aggloméré. N'importe quel étudiant en création de logiciels pourrait probablement créer un programme plus facile et plus rapide, qui ferait ces opérations en une fraction de seconde, mais cela n'a pas été fait. Toute personne intéressée peut trouver le tableur et les procédures mises en œuvre sur le site de l'ITEP, ou directement auprès de l'Institut Canadien de Recherche/Développement de la Défense de Suffield (contacter Geoff Coley +1-403-544-4046 ou William Roberts +1-403-544-4756 ou Russ Fall +1-403-544-4769).

[1] **Demonstration Trial of Bozena-4 and MV-4 Flails**, G. C. Coley, D. J. Roseveare, P.G. Danielsson, T. T. Karlsson, S. M. Bowen, L. M. Wye, F. C. A. Borry, 2007. Disponible à <http://www.itep.ws/pdf/NairobiFinal.pdf>

[2] **Machine Demonstration Analysis and Preliminary Results**, G. Coley, 2007. Disponible à http://www.itep.ws/pdf/MachineDemoSiberik2007_Coley.pdf