MÉCANISATION DES TRAVAUX DE DRAINAGE SOUTERRAIN

Communication
présentée au Comité technique
de la Société Hydrotechnique de France
le 21 mars 1968

PAR J. DUNGLAS *

I. Nécessité de la mécanisation

La technique du drainage souterrain par canalisations, qui a commencé à se développer il y a environ un siècle, avait relativement peu évolué dans notre pays jusqu'aux années 1950.

Le creusement des tranchées et le réglage de la pente du fond de fouille étaient alors exécutés par des équipes de terrassiers, la pose des drains de poterie se faisant à la main. L'habileté des opérateurs permettait un travail de bonne qualité avec un matériel simple et rustique. De nombreux réseaux ainsi mis en place il y a plus de cinquante ans fonctionnent encore parfaitement.

Après la guerre, la raréfaction de la main-d'œuvre fit monter les prix et bientôt il devint presque impossible de recruter des ouvriers draineurs qualifiés. Cette évolution est normale : le travail est très pénible et ne peut être suffisamment rémunéré. Quant à la montée des prix, elle s'explique très simplement par la stagnation de la productivité en matière de pose de réseaux vis-à-vis de l'accroissement constant de la productivité du travail, tant dans l'agriculture que dans l'industrie.

Les premières tentatives de mécanisation faites avec des machines étrangères mal adaptées, ne permettant pas de redresser la situation, et la baisse du rythme des travaux accentua encore le phénomène

en accroissant la part par hectare des charges improductives des entreprises.

Malgré une amélioration récente, le niveau trop élevé des prix fait que la France est encore parmi les derniers pays en Europe quant au rythme des réalisations, malgré des besoins aigus dans de nombreuses régions.

Il semble pourtant qu'on doive émerger bientôt de cette longue période de transition. La qualité et les capacités du matériel s'améliorent, les chantiers sont mieux organisés, les projets mieux étudiés. Mais bien des progrès sont encore à faire, à la fois sur le plan technologique et sur celui des méthodes de travail.

II. Impératifs techniques, économiques et optimisation des caractéristiques du matériel

1. Aspects techniques.

Les drains doivent être placés à la bonne profondeur et avec la pente prévue; la direction et les écartements doivent être conformes aux normes du projet. Il est essentiel d'opérer avec le plus grand soin le dépôt des tubes au fond de la tranchée, en particulier avec les éléments de poterie. Il est conseillé de placer systématiquement autour et au-dessus des tubes, un matériau filtrant. Il ne faut pas détériorer le terrain, ne pas trop éparpiller la terre extraite en profondeur et ne pas apporter de perturbations aux cultures.

* Docteur-Ingénieur, Ingénieur du Génie rural, des Eaux et des Forêts.

La machine doit donc être capable de placer les drains conformément au projet. Cela nécessite un rigoureux système de contrôle de profondeur. Il est important de l'équiper d'un train de chenilles à très basse pression qui lui permet de circuler aisément sur les terrains peu porteurs et de ne pas abîmer les cultures. L'engin doit être robuste et posséder une importante réserve de puissance pour travailler aisément sur tous les types de sol à vitesse élevée. Enfin, pour économiser la main-d'œuvre, il y a intérêt à automatiser le plus grand nombre d'opérations.

En résumé, dans notre pays, la machine doit pouvoir opérer couramment entre 0,90 m et 1,40 m de profondeur tout en pouvant, éventuellement, descendre jusqu'à 1,70 m et même 2 m. L'erreur sur la profondeur ne doit pas dépasser 5 mm. Une vitesse de travail de 100 m/h semble être un minimum.

2. Aspects économiques.

La machine doit être conçue en vue de minimiser le coût de la pose. Or, le prix de revient comporte trois éléments :

- a) les frais d'étude et d'implantation (qui représentent actuellement environ 10 % du prix moyen à l'ha);
- b) les frais généraux d'entreprise qui sont fixes et dont l'incidence sur le prix global est d'autant plus forte que l'entreprise travaille peu;
- c) les frais d'opération eux-mêmes, somme de trois termes :
 - le coût des fournitures (drains, collecteurs, regards, ...) et de leur transport,
 - les frais de machine, fixes (impôts, assurances, intérêt et amortissement du capital) et proportionnels (carburant, lubrifiant, entretien, réparations, ...),
 - les frais de main-d'œuvre.

Ce qui compte finalement pour l'agriculteur et l'Etat, c'est le coût à l'ha. Or l'étude détaillée du problème montre que la cause essentielle du niveau trop élevé des prix actuels provient de la charge trop lourde des frais généraux et des frais fixes de machine due au trop faible nombre d'hectares équipé annuellement.

L'examen des divers paramètres montre qu'il y a intérêt :

- à augmenter la surface drainée par an, donc à accroître vitesse et puissance de la machine et améliorer l'organisation des opérations;
- à diminuer les temps passés à l'ha, ce qui mène à des conclusions identiques;
- à diminuer l'importance de la main-d'œuvre.

L'idéal serait d'avoir du matériel travaillant vite et un grand nombre d'heures par an (en essayant de se rapprocher des classiques 2 000 h). On retrouve le problème du travail en toute saison et des machines n'abîmant pas les cultures.

Est-ce à dire qu'il faille rechercher la vitesse à tout prix ? Ici intervient le problème crucial de la conception du plan et de l'organisation du chantier. En effet, plus la machine travaille rapidement, plus le pourcentage du temps perdu en circulation et surtout en manœuvres en début et en bout de

drain devient important. En accroissant la vitesse, on arrive vite, vers 1 000 m/h à avoir sur nos chantiers classiques des pertes de temps du même ordre de grandeur que le temps de travail. On se rend donc bien compte qu'il existe, pour une structure de plan et de chantier déterminée, une vitesse optimale au-delà de laquelle toute augmentation supplémentaire de puissance coûte plus cher que le bénéfice apporté par l'accroissement de vitesse.

Un raisonnement très simple, basé sur les courbes de la figure 1 confirme ce résultat. Représentons par rapport à la vitesse de travail les paramètres :

- a) temps passé par ha;
- b) coût à l'heure de travail de la machine, y compris la quote-part des frais généraux d'entreprise;
- c) le coût de la pose à l'ha, produit de a par b.

(a) peut se représenter avec une bonne approximation par une hyperbole équilatère. Quand la vitesse augmente, (a) tend vers la limite incompressible qui représente l'ensemble des temps morts (τ). Dans l'expression de (a) et de τ interviennent la longueur moyenne l_m des files de drains dans les parcelles et le temps de manœuvres aux extrémités;

(b) est une courbe croissante. Il est difficile de lui donner une forme mathématique précise, car il n'existe pas de relation exacte entre vitesse, puissance et prix de la machine. Le passage d'une technique à une autre peut changer complètement l'allure du graphe. En première approximation, on peut le représenter par une droite à coefficient angulaire positif.

(c) représentant le produit de (a) par (b) apparaît ainsi comme une courbe avec un minimum assez peu marqué.

La position de la zone optimale dépend avant tout de la valeur de τ , c'est-à-dire de la longueur moyenne des drains dans les parcelles l_m . A l'heure actuelle, la longueur des drains varie de 20 à 150 m, avec en général pour l_m des valeurs se situant aux alentours de 70 à 100 m (l_m croissant avec la dimension des parcelles, ce qui est normal). En fait, ces longueurs pourraient être très aisément accrues; la plupart des projeteurs se limitent, en fonction de critères anciens qui devraient être revus, en particulier dans le domaine des débits maximaux, à véhiculer dans les drains.

Un examen détaillé montre qu'on pourrait passer, sans difficulté, à des longueurs de 300 m sans changement de diamètre et à 500 m en acceptant un accroissement de diamètre sur la partie terminale du drain.

Le gain sur les temps morts est alors immédiat et la rentabilité de la machine peut être considérablement accrue. Mais, là encore, il y a une série de limites :

- une limite physique d'abord; suivant les caractéristiques topographiques, un drain très long peut entraîner à des surprofondeurs importantes; or, il ne faut pas descendre, sans couverture de graviers, dans l'imperméable. D'autre part, la vitesse d'avancement décroît rapidement quand la profondeur passe au-delà de 1,20 à 1,30 m;

— une limite économique ensuite, un changement de diamètre entraînant un accroissement de prix important.

Soit :

- π_1 le prix au mètre de tuyau de diamètre d_1 ;
- π_2 le prix au mètre de tuyau de diamètre $d_2 > d_1$.

Admettons 300 m de longueur limite.

Si le drain à moins de 300 m, son prix est de $\pi = \pi_1 l$.

Au-delà : $\pi = \pi_1 \times 300 + \pi_2 (l - 300)$

Et si on a L mètres à l'ha, le prix à l'ha devient :

$$\pi_{ha} = \frac{\pi}{l} L = 300 (\pi_1 - \pi_2) \frac{L}{l} + \pi_2 L$$

Représentons π_{ha} en fonction de l : c'est une horizontale suivie d'une hyperbole d'asymptote $\pi_2 L$.

Admettons que les prix des drains puissent être en première approximation calculés à partir de l_m ; si on représente la variation du minimum de (c) (à la vitesse optimale) en fonction de l_m , on a une courbe décroissante, la vitesse optimale croissant avec l'augmentation de la longueur des drains.

La somme du coût de la pose et du coût du tube (d) présente ainsi un minimum correspondant, dans l'état actuel de la technique, à l_m compris entre 300 et 500 m.

De tout cela, il vient une série de conclusions. Avec les projets tels qu'ils sont traités actuellement (longueur moyenne du drain 70 à 100 m), des vitesses très élevées, dépassant 1 500 m/h ne sont probablement pas économiques. Il faut donc augmenter les longueurs moyennes des drains pour arriver aux alentours de 200 à 300 m avec des grandes files atteignant 400 m. La gamme des vitesses optimales devrait alors se situer entre 1 000 et 1 500 m/h. Ces chiffres sont valables en 1968. Ils pourraient être bouleversés par un progrès technologique imprévu. Ils se situent toutefois très au-delà des valeurs courantes.

3. Caractéristiques du matériel utilisé actuellement.

Ces machines sont, pour la plupart, constituées d'une trancheuse équipée d'un dispositif de contrôle de profondeur et munie d'un système de mise en place de drains.

L'organe de creusement peut être soit une roue à godets, soit une chaîne à couteaux ou même encore une vis ou bien une roue à palettes.

La roue à godets, qui fut très utilisée, est stable et permet un réglage très précis de la profondeur. Elle autorise l'extraction de pierres de moyenne dimension. Elle est moins employée actuellement car, sa vitesse étant limitée, il est difficile d'accroître beaucoup la puissance qui lui est fournie, les couples nécessaires devenant en effet très vite énormes. Ce facteur limite donc la vitesse de travail.

Notons que, sur la draineuse Allen 9/15 utilisée en France, la roue a 2,67 m de diamètre, elle tourne de 10 à 14 tr/mn et la puissance absorbée par le creusement est de l'ordre de 45 à 48 kW (60 à 65 ch). Le moment du couple maximal disponible varie ainsi d'environ 3 000 à 5 000 m.kg.

La vitesse d'avancement varie de 100 à 200 m/h suivant les terrains.

1/ Evolution du coût de la pose à l'hectare en fonction de la vitesse de travail :

- a) temps de pose en h/ha ;
- b) coût de la machine à l'heure ;
- c) coût de la pose à l'ha = $a \times b$.

Pipelaying cost per hectare vs. working rate :

- a) pipelaying rate, hours/hectare ;
- b) hourly machine cost ;
- c) pipelaying cost per hectare = $a \times b$.

2/ Evolution du coût de la pose et du coût du drain en fonction de la longueur des drains dans les parcelles.

Pipelaying and drain cost vs. drain length in fields.

La chaîne à couteaux permet des vitesses de coupe plus élevées, mais est moins stable. La forme et la disposition des couteaux sont très variables : il n'existe pas une solution optimale, mais de nombreuses possibilités s'offrent à l'ingénieur, en particulier suivant les types de terrain. En général, la chaîne porte alternativement un couteau et une palette d'éjection; le nettoyage du dispositif s'opère par effet centrifuge, la terre étant automatiquement rejetée vers le système d'évacuation.

Les caractéristiques de coupe de trois trancheuses à chaîne utilisées en France, sont les suivantes :

	BARTH	HOLLAND- DRAIN	Hæss
Vitesse linéaire des couteaux (m/mn). . . .	25/225	12/342	30/230
Puissance sur la chaîne.	60 kW (80 ch)	90 kW (120 ch)	67 kW (90 ch)
Force maximale disponible sur les couteaux (kgf).	1 600 à 14 400	1 300 à 45 000	1 750 à 13 500

Les vitesses d'avancement varient de 100 à 400 m/h suivant les terrains.

Un constructeur français a mis au point un système un peu différent constitué de quatre palettes disposées radialement autour d'un axe entraîné par un moteur hydraulique, le nettoyage étant opéré par une palette latérale animée, au moment voulu, d'un mouvement de balayage. La puissance nécessaire est d'environ 25 kW pour une vitesse d'avancement de 200 m/h.

Une machine construite en Union Soviétique possède un organe de creusement constitué d'une vis travaillant dans un plan vertical, l'axe de l'outil faisant un certain angle avec l'horizontale.

La puissance absorbée au niveau de la vis varie de 18 à 40 kW (25 à 55 ch) pour des vitesses d'avancement allant de 100 à 200 m/h.

— Réglage de profondeur :

La partie travaillante est en général reliée au véhicule porteur par un bâti articulé dont la position est commandée par un système de vérins hydrauliques.

Le réglage de profondeur est assuré par un opérateur assis sur un siège solidaire du bâti porte-outil. Le procédé le plus couramment utilisé est la visée optique sur un alignement de mire représentant une ligne parallèle à la ligne du projet. L'opérateur, qui a entre les mains le levier de commande du système hydraulique de relevage, doit alors simplement caler le repère fixé devant ses yeux de manière à le confondre avec l'alignement; le fond de fouille se trouve ainsi réalisé à la cote désirée. Ce travail ne présente aucune difficulté aux vitesses usuelles d'avancement des trancheuses se situant entre 150 et 300 m/h. A noter que le plus souvent une seule personne est suffisante pour conduire la machine et régler la profondeur. Avec un personnel de bonne qualité, la précision de la pose est excellente.

Une autre méthode a été expérimentée. En bout de ligne, un topographe opère une visée dans un

théodolite dont l'axe est parallèle à la ligne du projet. Il voit dans son appareil la croix blanche tracée à l'arrière de la machine; cette marque doit être maintenue dans l'axe de la lunette. La transmission de l'information peut se faire du topographe au conducteur par radio, mais la lenteur de l'acheminement peut conduire à des erreurs notables, avec de fortes vitesses d'avancement. Le mieux est d'installer une vraie télécommande agissant directement sur le système hydraulique de relevage.

— Pose du drain.

La méthode de pose est différente suivant le type de drain.

L'organe de pose est installé dans un long caisson étroit en tôle qui empêche les retombées de terre. Il guide le drain et l'amène tangentiellement à la cunette.

Avec les éléments de poterie, c'est une goulotte continue, lisse, à grand rayon de courbure. Le poids des tubes et les vibrations suffisent à assurer la descente. L'ouvrier draineur enfle les tuyaux un par un dans le guide et, par derrière, un autre ouvrier muni d'un crochet vérifie la pose et rectifie, s'il y a lieu, les alignements défectueux.

Le problème le plus ennuyeux est l'alimentation en poteries de la machine. Le plus souvent, on dépose les drains à même le sol parallèlement à la future tranchée; un manœuvre les ramasse et les passe au draineur. Il semblerait plus rationnel de préparer en usine des paquets de drains liés par du ruban métallique. La machine pourrait en emmener deux, le ravitaillement se faisant en bout de ligne ou de place en place au moyen d'un petit palan.

Avec les tuyaux en matière plastique rigide, la pose demande nettement moins de précautions puisque le problème de l'alignement en fond de tranchée ne se pose plus. Les éléments, d'une longueur de 6 m, sont gerbés sur la machine et il suffit théoriquement d'un seul ouvrier pour enfiler les tuyaux les uns dans les autres par emboîtement.

Une solution extrêmement intéressante sur le plan de la mécanisation, est l'utilisation de drain souple. On commence à utiliser sur une grande échelle, un tuyau très souple enroulé sur un touret et qui se dévide pendant l'avancement. Un galet appuie le tuyau au fond de la tranchée pour le mettre en position définitive.

Il est fortement conseillé de placer sur le drain une couche de matériaux perméables, tourbe ou tout-venant granuleux. Un organe annexe (trémie) est alors indispensable.

Pour permettre le contrôle, on ne remblaye pas en général immédiatement, l'opération se fait quelques jours plus tard au moyen d'un petit bulldozer.

4. Nouveaux procédés et matériels.

A côté des questions de conception et de tracé, ainsi que d'organisation de chantier, les constructeurs se sont vite rendu compte que l'amélioration de la productivité pouvait s'obtenir essentiellement par un accroissement de la vitesse de travail. Beaucoup de spécialistes, se sont penchés sur le problème depuis une dizaine d'années dans de nombreux pays. Or, il semble difficile d'obtenir écono-

3 a/

3 b/

4/

3 a/ Machine à roue à godets Allen.
Allen bucket wheel machine.

3 b/ Machine à chaîne à couteaux Hoess.
Hoess chain cutter machine.

4/ Schéma d'une trancheuse soviétique à vis.
A russian tractor-mounted screw-type trencher.

5 a/ Vue latérale du système de creusement de la machine Oléomat.
Side view of "Oleomat" digging system.

5 b/ Le conducteur a devant lui un dispositif de visée qu'il aligne avec les mires préalablement placées sur le terrain.
The driver lines up his sights on marker posts along the run.

6/ Schéma du réglage de profondeur par visée optique.
Optical depth control method.

5 a/

5 b/

6/

miquement, des trancheuses, des vitesses supérieures à 500 m/h. Aussi s'est-on orienté vers une autre solution : celle d'un engin créant directement dans le sol une galerie pour y placer ou y former un drain, en général en matière plastique.

Un grand nombre de prototypes a été construit avec des succès variés. A la lueur de ces essais, on peut tirer les conclusions suivantes :

- la création d'une galerie au moyen d'un outil fouisseur fixe tracté, est relativement aisée;
- le formage direct dans le sol d'un tuyau de béton n'est pas intéressant, car il nécessite un matériel complexe et trop peu rustique;
- les tuyaux de poterie peuvent être placés dans une galerie ainsi creusée, moyennant certaines précautions, mais l'opération est délicate;
- le formage direct du drain dans le sol à partir d'une bande perforée en matière plastique est une technique très prometteuse, car elle peut permettre une réduction très importante des coûts de réalisation.

Pour transformer la bande en tuyau, divers systèmes ont été utilisés : enroulement longitudinal ou en spirale et fermeture soit par collage, soudage ou par un dispositif analogue aux fermetures éclair.

Mais la méthode la plus rustique et la plus simple semble bien être l'utilisation d'un tuyau suffisamment souple pour épouser les courbes assez accentuées imposées par la forme de l'outil.

a) EFFORTS DE TRACTION ET PUISSANCE NÉCESSAIRE.

A l'origine, l'outil fut directement dérivé de la charrue-taupe avec son contre-étançon vertical et son obus. Mais la nécessité de faire descendre le drain dans l'étançon impose de lui donner une épaisseur minimale d'une dizaine de centimètres. L'outil prend alors la forme d'une sorte de lame épaisse dont la pointe inférieure est renforcée. Et si l'on veut utiliser des drains de poterie, il faut placer derrière l'outil, un caisson ressemblant beaucoup à celui des trancheuses actuelles.

Il faut un effort relativement important pour enfoncer et propulser dans le sol un tel outil. Appe-

7 a/ Pose de drains poterie.
Laying earthenware drains.

7 b/ Pose de drains plastiques rigides (machine Hollandrain).
Laying rigid plastic drains (Hollandrain machine).

8 a/ Machine Barth équipée pour la pose de drains souples enroulés sur touret.
Barth reeled flexible drain laying machine.

8 b/ Drainage de la Steppe de la Faim en U.R.S.S. (République d'Ouzbekistan). Alimentation de la trémie qui forme le filtre au-dessus du drain.
Drainlaying in the Uzbekistan steppe. Feeding the filter hopper over the drain.

lons-le F ; si F est exprimé en tonnes-force, V étant la vitesse d'avancement en m/s, la puissance en kW mobilisée ainsi sera de :

$$P_{kw} = 9,81 \times F \times V$$

L'étude précise de F en fonction des différents paramètres en jeu : géométrie de l'outil, caractéristiques mécaniques du sol, vitesse, est extrêmement difficile car l'on est obligé de faire des hypothèses sur la manière dont le terrain est repoussé et déformé, et de nombreuses expériences seraient nécessaires. On peut toutefois, par un raisonnement rapide, évaluer les ordres de grandeurs et les sens de variation.

— Déformation du sol.

Il s'agit d'une déformation plastique et l'on voit facilement qu'il vaut mieux refouler vers le haut plutôt que latéralement et surtout vers le bas.

La lame doit donc être inclinée dans le sens de la marche, les parties les plus profondes étant le plus en avant. Cette forme qui facilite également l'équilibrage, a aussi l'avantage de permettre un meilleur refoulement des pierres rencontrées.

La force nécessaire à l'avancement d'un élément plan incliné d'un certain angle par rapport à la verticale et dans un certain sens, peut s'évaluer à l'aide de la théorie de la butée. Il est alors possible de calculer l'effort correspondant à un élément de lame verticale puis l'étendre à l'outil complet.

Souignons tout de suite l'aspect approché de l'évaluation. La théorie de la butée n'est valable que dans le cadre de déplacements faibles. Dès qu'il y a mouvement et *a fortiori* mouvement à des vitesses dépassant 30 à 50 cm/s, des phénomènes dynamiques, inertie, et surtout viscosité, apparaissent.

Toutefois la théorie nous donne une valeur minimale de l'effort et surtout permet de pondérer l'influence des paramètres, en particulier à la lumière de la très vaste expérience que l'on a en matière de pénétromètre.

--- Géométrie de l'outil :

En première approximation, l'effort est proportionnel à l'épaisseur de l'outil.

Il croît rapidement avec la profondeur. L'effort de butée est en effet proportionnel au poids des terres susjacentes. L'importance du phénomène est encore accrue par le fait que la résistance du sol augmente en général au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la surface.

La dimension de la lame dans le sens de l'avancement a aussi une très grande importance. Le frottement le long des flancs a en effet tendance à entraîner latéralement le sol dans la direction de la marche. Cela surcharge d'autant les zones de terrain situées en avant de la lame, ce qui accroît l'effort nécessaire à la pénétration. Pour diminuer l'importance de ce phénomène qui joue un rôle considérable, le mieux est de diminuer l'épaisseur de l'outil après le bord d'attaque.

D'autre part, la lame ne doit pas être taillée à l'avant suivant un dièdre trop aigu. Une lame trop « effilée » présente en effet, du fait de l'épaisseur finale, une dimension trop importante dans le sens de l'avancement ce qui accroît beaucoup les effets latéraux, en particulier de frottement et donc l'ef-

fort en propulsion. Un angle de 60 à 90° est suffisant. Certains constructeurs ont même supprimé ce dièdre en jouant simplement sur l'inclinaison sur l'horizontale pour refouler le sol vers le haut. La terre découpée au fond est alors remontée le long de la pente.

— Propriétés mécaniques du sol :

Elles sont évidemment essentielles. Le comportement plastique d'un sol est caractérisé par sa cohésion (qui s'exprime en unité de contrainte, par exemple en bar) et son frottement interne (qui s'exprime par un angle ou sa tangente). Cohésion et frottement croissent avec la compacité.

La cohésion varie beaucoup avec le taux d'humidité. Un sol argileux peu humide peut présenter des cohésions énormes. Or les forces de butée augmentent très vite avec le frottement et la cohésion. Les efforts mobilisés dans un sol cohérent presque sec, seront donc très importants.

Bien souvent les parties profondes des terrains travaillés sont saturées. En terrain peu perméable, le frottement interne ne joue plus au moment de la rupture du fait de l'accroissement de la pression interstitielle.

La présence de pierres accroît bien entendu l'effort nécessaire puisqu'à ce moment là il faut assurer en plus de l'avancement de l'outil le refoulement latéral ou vers le haut du bloc.

— On connaît mal enfin le rôle de la vitesse :

Des expériences seraient nécessaires pour le préciser. Au-delà d'un certain seuil se situant probablement assez bas, l'effort doit croître fortement avec la rapidité d'avancement.

Finalement on se rend compte que les efforts nécessaires vont être extrêmement variables suivant les circonstances. Pour fixer les idées, disons qu'un outil pouvant poser des drains de 8 cm de diamètre à 1,20 m de profondeur nécessite un effort de 4 à 10 t, en sol limoneux humide. La rencontre d'une pierre de 20 à 30 cm peut l'accroître momentanément de 30 à 50 %.

A 1 000 m/h, un effort moyen de 10 t, dans le cas d'un rendement de propulsion de 70 %, nécessite une puissance d'environ 40 kW en continu.

Compte tenu du fait qu'il faut pouvoir travailler en terrain dur et extraire les pierres et que, d'autre part il est nécessaire de disposer de 15 à 20 kW pour la propulsion de l'engin et les auxiliaires, il apparaît que :

- pour travailler à 1 000 m/h en moyenne, il faut disposer de 80 à 100 kW;
- pour travailler à 3 000 m/h, il sera nécessaire de passer à des niveaux plus élevés atteignant 250 à 350 kW.

Par ailleurs, il sera bon de prévoir une transmission à convertisseur de couple capable d'encaisser les à-coups brutaux et un ensemble d'axes, boîte de vitesses et barbotins suffisamment dimensionnés pour supporter les efforts développés.

Etant donné ce que nous avons vu plus haut sur les vitesses économiques de travail, nous pouvons en conclure qu'en se limitant à 1 000 à 1 200 m/h, nous aurons une machine susceptible de travailler dans les meilleures conditions économiques, sans nécessiter une puissance de propulsion anormalement grande.

b) SYSTÈMES DE GUIDAGE - AUTOMATICITÉ.

Le problème du réglage de la profondeur devient critique avec l'augmentation de la vitesse.

Le plus simple serait évidemment de s'en tenir au système de visée actuel. Mais à des vitesses de 1 000 à 1 500 m/h, soit 0,30 à 0,45 m/s, les risques d'erreurs sont beaucoup plus grands. Une inattention de quelques secondes, sans suite grave à 200 m/h, peut alors entraîner des écarts importants. L'opérateur est tenu à une attention soutenue de tous les instants. Pratiquement, il semble même, à la lumière des expériences réalisées sur quelques prototypes, qu'il soit alors nécessaire d'avoir à la fois un conducteur et un opérateur.

Un dispositif automatique de guidage permettrait de faire l'économie d'une personne, mais donnerait surtout l'assurance d'une régulation sans erreur.

De nombreuses recherches ont été faites pour résoudre le problème. Le guidage sur un faisceau lumineux (ou infrarouge) semble préférable à l'utilisation d'un fil tendu, étant donné les grandes longueurs préconisées. Le schéma d'un dispositif économique pourrait être le suivant. Un dispositif optique monté en parallèle sur un théodolite émet un pinceau étroit et directif qui concrétise une ligne parallèle à la ligne du projet. La machine porte une cellule réceptrice formée d'un panneau photo-sensible, abrité par un tube de la lumière ambiante, et comportant un panneau central correspondant à la position d'équilibre et des panneaux extérieurs; quand le faisceau touche l'un de ces panneaux, un ordre de correction est envoyé au système de relevage de la machine pour recentrer la cellule sur le rayon.

L'inconvénient du système est l'impossibilité de corriger les écarts importants qui se produisent brutalement. Mais on peut très bien imaginer que pour les écarts dépassant la dizaine de centimètres, le conducteur lui-même réaligne la machine.

Un tel automatisme libérerait l'opérateur d'une visée continue et astreignante lui permettant ainsi de mieux contrôler le fonctionnement général de l'engin.

c) MISE EN PLACE DU DRAIN.

Bien que la mise en place d'éléments de poterie soit possible avec les machines à outil fouisseur fixe, il est certain que le système le plus simple et le mieux adapté est l'utilisation du drain flexible enroulé sur un touret monté sur l'engin.

La pose d'un filtre perméable peut se faire de la même manière que sur les trancheuses.

d) CONTROLE DE LA POSE.

Il est indispensable de contrôler la pose au moment du travail car quelques minutes après, la fente est pratiquement refermée. On peut imaginer d'utiliser pour cela un palpeur assurant à la fois la vérification de la fonction des éléments (dans le cas de la poterie) et le positionnement correct par rapport à la ligne du projet. Or cette opération est tout à fait difficile à réaliser quand le réglage est fait par un opérateur au moyen d'une visée optique: il est nécessaire en effet de concrétiser dans l'appareil l'écart entre la position réelle et la position idéale.

Un tel dispositif pourrait aisément se concevoir

avec un système de réglage automatique. Le signal d'erreur perçu par la cellule réceptrice serait en effet très simplement enregistré sur une bande dont le défilement serait réglé proportionnellement à l'avancement de la machine. On disposerait ainsi d'un enregistrement dont le contrôle au bureau permettrait très aisément de s'assurer de la qualité du travail et de repérer l'emplacement d'un accident de pose.

5. Conclusions.

L'augmentation de la productivité du travail et la réduction de la part par ha des frais fixes (généraux et de capitaux) sont les deux leviers essentiels qui peuvent permettre une baisse substantielle des coûts de pose des réseaux de drainage.

Pour parvenir à ce but, il faut accroître dans de grandes proportions, le rendement annuel du matériel et pour cela on peut agir:

- au niveau des projets, en étudiant et adaptant mieux le tracé à la pose mécanique;
- au niveau des chantiers, par une meilleure organisation permettant d'éviter au maximum les pertes de temps;
- au niveau des machines, par l'augmentation en vitesse de travail.

Les projets de drainage actuels sont encore assez rarement conçus dans l'optique du meilleur travail à la machine. Les longueurs moyennes de drain qu'on rencontre dans les parcelles se situent entre 70 et 100 m. Elles peuvent être aisément portées autour de 200 à 300 m. La zone de vitesse optimale de la machine se situerait alors entre 800 et 1 200 m/h et des gains importants de prix de revient pourraient être obtenus.

Mais de telles vitesses sont difficilement réalisables avec des trancheuses. Les machines à outil fouisseur fixe nous donnent la possibilité de les obtenir avec des puissances installées de l'ordre de 100 à 150 kW, tout à fait admissibles. Toutefois, ce matériel, du fait des efforts énormes engendrés par la pénétration de l'outil, devra être de conception très robuste et risqué, de ce fait, de se montrer, tout au moins au début, assez coûteux malgré la simplicité extrême du dispositif de creusement.

D'autre part, à ces vitesses, le réglage de la profondeur de pose devient difficile à assurer par les méthodes classiques et nous avons vu qu'un dispositif automatique de commande était souhaitable. Il semble que le meilleur système soit un guidage sur rayon lumineux, le rattrapage des écarts importants étant laissé à l'initiative du pilote pour éviter d'avoir une installation complexe et chère.

La présence de ce contrôleur automatique permet par ailleurs l'enregistrement sur bande de la profondeur de pose donc le contrôle commode, *a posteriori*, au bureau, de la qualité du travail.

Mais répétons-le, une telle machine, lourde, puissante, coûteuse, ne sera rentable que sur des projets bien conçus et adaptés, couvrant de larges superficies.

Par contre, en ce qui concerne tous les travaux de faible envergure représentant quelques dizaines d'hectares éparpillés en petites parcelles, les vitesses optimales de travail se situent à un niveau bien

9 a/ Prototypes de machines à outil fixe fouisseur.
Fixed-tool prototypes.
Document Drainomat. / "Drainomat" design.

9 b/ Document Blanc (Lunel, Gard).
Blanc (Lunel, Gard) design.

10/
Schéma d'un guidage par rayon lumineux.
Diagrammatic light beam guiding system.

plus bas. Dans ce cas, des trancheuses à prix d'achat raisonnable (portées par exemple par un gros tracteur agricole), et pourvues d'un bon système de réglage de profondeur et de pose peuvent rendre de très grands services et se révéler les plus rentables des outils.

— drains par ha avec un écartement de 15 m.....	550 m
— collecteur par ha avec un écartement de 15 m.....	109 m
— drains par ha avec un écartement de 18 m.....	486 m
— collecteur par ha avec un écartement de 18 m.....	96 m

Annexe

Une étude statistique sur la structure des projets de drainage est en cours au C.E.R.A.F.E.R. Les premiers résultats obtenus sont les suivants.

Le calcul porte sur une série de projets de drainage classiques couvrant 233 ha répartis en 49 parcelles.

- surface moyenne des parcelles : 4,76 ha;
- longueur moyenne des drains par parcelle : 85,7 m (écart type 23 m);
- longueur moyenne de :
 - drains par ha avec un écartement de 10 m..... 824 m
 - collecteur par ha avec un écartement de 10 m..... 119 m

Discussion

Président : M. BAUZIL

M. le Président remercie M. DUNGLAS de son exposé très vivant et particulièrement documenté.

M. GARNIER remarque que les travaux de drainage par poterie ou tube enterré entraînent des investissements élevés, qui en freinent l'expansion.

A-t-on entrepris en France un programme de recherches sur le procédé de drainage par charrue-taube de manière à connaître la teneur en argile souhaitable et le taux d'humidité optimal des sols susceptible d'être drainé par ce procédé? Il pourrait en résulter, dans nombre de cas, des économies fort substantielles, surtout si les travaux pouvaient être exécutés avec des tracteurs de modèle courant.

M. DUNGLAS confirme l'intérêt des travaux de drainage par charrue-taupe, mais actuellement, ils sont peu pratiqués en France. Des essais effectués il y a quelques années par l'Institut National de la Recherche agronomique avaient conduit aux conclusions suivantes : il y a une corrélation très nette entre la tenue d'un drain-taupe et la stabilité structurale du sol dans lequel celui-ci est réalisé. Les sols très stables sur le plan structural donnent des drainages qui tiennent de 5 à 10 ans; dans les terrains instables sur le plan de la stabilité structurale, cette durée est très faible. Il y a encore beaucoup à faire pour délimiter le champ d'application de cette technique, mais pour le moment, les moyens manquent.

En ce qui concerne les tuyaux en plastique souple, M. de CAZENOVE demande quels sont les domaines d'utilisation des tuyaux nus, des tuyaux recouverts de laine de verre et des tuyaux entourés de gravier.

M. DUNGLAS explique que les tuyaux du type tuyau d'arrosage percé de trous, sont des drains de type anglais, non utilisés en France. Le seul tuyau de plastique souple employé en France, est un tuyau en PVC qui est souple parce qu'il est annelé, les fentes étant disposées au fond des gorges.

Il précise que dans notre pays les revêtements disposés autour des drains souples sont principalement le gravier et le sable, alors que les Allemands et surtout les Hollandais s'orientent vers l'emploi de bandes de tourbe. Il pense que les tuyaux en poterie devraient également être revêtus, en particulier dans le cas de drains de grande longueur, aux endroits où le drain doit traverser des zones imperméables. En U.R.S.S. ce type de garnissage est utilisé systématiquement.

M. le Président demande si l'on peut envisager l'emploi de machines réalisant une cavité qui serait remplie d'un matériau autofiltrant.

M. DUNGLAS répond que ce procédé a déjà été expérimenté, il y a quelques dizaines d'années. L'idée n'a pas été reprise car cette solution nécessite des ouvertures et donc des efforts de traction importants.

M. GARNIER pose une dernière question :

« Dans le cas où, pour assurer le fonctionnement prolongé du drain, on est amené à l'entourer d'une gaine filtrante en gravier, il semble que cela conduise à un supplément d'investissement élevé; n'est-il pas possible d'envisager d'autres matériaux plus économiques que le gravier? En Allemagne, on utilise des déchets de produits plastiques, ce qui permet de réduire d'une façon importante les frais d'établissement. Des essais analogues ont-ils été effectués en France? »

M. DUNGLAS déplore l'absence de M. GUYON, spécialiste en la matière et qui a déjà essayé différents systèmes de protection. L'emploi du gravier permet dans bien des cas des écartements plus importants des drains, ce qui peut compenser l'accroissement de dépense.

En ce qui concerne les autres matériaux, des essais ont été faits, avec des résultats encore discutés, avec la laine de verre; la tourbe est employée en bandes ou en vrac et donne de bons résultats; on ne connaît pas les résultats pratiques obtenus avec les déchets de matière plastique.

On pourrait peut être envisager de livrer un drain gainé, ce qui ne serait pas sans inconvénient pour la pose par machine-taupe : en fait, le problème n'est pas résolu.

M. le Président remercie tous les conférenciers et les personnes qui sont intervenues dans les discussions.

La séance est levée à 18 h 35.

Abstract

The mechanisation of underground drainage work

by J. Dunglas *

Farm drainage development is very slow in France and costs are generally high. This is due to the fact that productivity in this type of work has remained practically static for years.

Mechanisation of this work, with which a start was made ten years ago, is therefore an economic necessity. It is also a social one.

Drainage works today are mainly carried out with trenchers adjustable for depth and with a visual lining-up device and a drain-laying system. Working rates depend on the power output of the equipment and range from 100 to 300 metres hourly, with daily capacities of about 1 000 metres hourly.

An economic study shows that both these rates and the number of hours of annual use of the machine must be increased appreciably if its cost is to be reduced. This involves problems associated with the structure of the network, however, and it is readily shown that a fast-working machine is only an attractive proposition where the drain alignments are of sufficient length to ensure that inoperative times are reduced to a minimum. Optimum rates for 200-300 metre alignments are between 800 and 1 500 metres hourly.

Such rates are beyond the scope of trenchers, however, but they are no problem for fixed burrowing tool machines derived from the mole plough, which are also capable of laying the drains much faster, especially where flexible plastic drain pipes are used.

This type of equipment requires a very high propulsive force, i.e. about 10 tons for continuous operation with the possibility of reaching 20 tons, for which a power output ranging from 80 to 120 kW is necessary between working rates of 800 and 1 200 metres hourly. These machines must be craftsman-built and of robust construction, especially where their transmissions are concerned. Moreover, visual lining-up by the operator is only just adequate at these high rates, and it is preferable to have some form of automatic guiding system.

Systems based on a highly collimated light ray as a datum line have been tried. They should be satisfactory whilst enabling a check to be kept on the operation by a strip chart recording of drain laying depth and quality.

These are powerful, fairly sophisticated machines, and as such they are expensive. They will enable considerable savings to be achieved, but only on well-organised sites and where used to lay specially designed networks.

On ordinary sites and for drainage plans designed for the usual factors, slower less expensive trenchers still remain the most economic form of equipment if used properly.

* Docteur-Ingénieur, Ingénieur du Génie rural, des Eaux et des Forêts.