

Rapport Spécial N° RS-20
décembre 1982

Emploi de pelles hydrauliques (à godet) pour la construction de chemins forestiers dans le Centre et l'Est du Canada

Ernst I. Stjernberg

This Special Report is available in English.

RÉSUMÉ

Le présent rapport a été écrit afin de répondre à une demande de membres de l'industrie forestière qui désiraient savoir comment et où employer des pelles hydrauliques pour la construction de chemins forestiers dans le Centre et l'Est du Canada. Dans les conditions rencontrées dans cette région, il semble préférable d'utiliser la pelle comme complément au bulldozer, chacun des deux engins accomplissant les tâches qui lui conviennent le mieux.

REMERCIEMENTS

L'auteur désire exprimer sa reconnaissance aux entreprises forestières suivantes qui ont gracieusement accepté de mettre en commun leur expérience dans l'utilisation de pelles hydrauliques (à godet) pour la construction de chemins forestiers.

- Abitibi-Price Inc.,
- Consolidated-Bathurst Inc.,
- Produits Forestiers E.B. Eddy Ltée,
- Industries James Maclaren inc.,
- Northwood Pulp and Timber Ltd,
- Prince Albert Pulp Co. Ltd,
- Procter and Gamble Cellulose Ltd,
- Reed Inc.,
- Spruce Falls Power and Pulp Co. Ltd.

Caterpillar Americas Co. a fourni plusieurs des illustrations utilisées dans ce rapport, de même que les renseignements techniques se rapportant à l'emploi de leurs pelles hydrauliques. Nous les en remercions sincèrement.

L'auteur désire remercier également les critiques du présent rapport dont les nombreux commentaires et suggestions ont été des plus utiles.

TABLE DES MATIÈRES

	page
REMERCIEMENTS	i
LISTE DES FIGURES	iv
LISTE DES TABLEAUX	vi
SOMMAIRE	vii
1. INTRODUCTION	1
2. HISTORIQUE	2
3. CONSTRUCTION DE CHEMINS FORESTIERS DANS LE CENTRE ET L'EST DU CANADA	2
3.1 Équipement communément employé	2
4. COMPARAISON ENTRE QUELQUES-UNES DES CARACTÉRISTIQUES DE LA PELLE HYDRAULIQUE ET DU BULLDOZER	4
4.1 Aire d'action	4
4.2 Contrôle des matériaux	7
4.3 Quantité de matériaux déplacés par cycle de travail	8
4.4 Vitesse de déplacement	8
4.5 Pression au sol	8
5. CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES LORS DE LA CONSTRUCTION DE CHEMINS FORESTIERS	8
6. QUELQUES CRITÈRES DE CHOIX D'UNE PELLE HYDRAULIQUE	12
6.1 Forces des dents	13
6.2 Bras d'excavation et godet	13
6.3 Contenances du godet	15
6.4 Flèche	15
6.5 Engin porteur	16
6.6 Protection supplémentaire	17
7. TECHNIQUES DE FONCTIONNEMENT DE LA PELLE HYDRAULIQUE	18
7.1 Tracé de route	19
7.2 Déboisement de l'emprise de route	20
7.3 Jalonnement	21
7.4 Défrichement à l'aide du bulldozer	21
7.5 Défrichement à l'aide d'une pelle hydraulique	25
7.6 Construction de la plate-forme	28
7.7 Nivellement et compactage de la plate-forme	33
7.8 Installation des ponceaux	33
7.9 Gravelage	33

TABLE DES MATIÈRES (suite)

	Page
8. COÛT ET PRODUCTIVITÉ DE LA CONSTRUCTION ROUTIÈRE À L'AIDE DE PELLES HYDRAULIQUES	34
8.1 Étude de cas 1	35
8.2 Étude de cas 2	39
8.3 Étude de cas 3	45
9. AUTRES UTILISATIONS DE LA PELLE HYDRAULIQUE	50
9.1 Autres utilisations se rapportant aux routes	50
9.2 Utilisations possibles à l'aide d'autres accessoires	50
10. PELLE HYDRAULIQUE MONTÉE SUR UN ENGIN PORTEUR A ROUES TOUT-TERRAIN	51
BIBLIOGRAPHIE	53
ANNEXE I - TERMINOLOGIE	58
ANNEXE II - CLASSIFICATION DES TERRAINS FORESTIERS AU CANADA (TIRÉ DU NO 37 DE LA BIBLIOGRAPHIE)	59

LISTE DES FIGURES

	Page
Figure 1. Pelle hydraulique utilisée pour la construction de chemins forestiers dans l'Ouest du Canada.	3
Figure 2. Pelle hydraulique utilisée pour la construction de chemins forestiers dans l'Est du Canada	4
Figure 3. Profondeur de creusage et portée de déchargement d'une pelle hydraulique (Liebherr R972HD) avec flèche en col de cygne de 23'3"/7100 mm).	5
Figure 4. Souvent la pelle hydraulique peut extraire à proximité de la route une quantité suffisante de matériaux dont la plus grande partie serait inaccessible au bulldozer.	5
Figure 5. Talus formé par une pelle hydraulique.	6
Figure 6. Gamme d'utilisation des divers engins.	6
Figure 7. Déplacement des arbres à l'aide de la pelle hydraulique.	7
Figure 8. Les chemins forestiers et les cours d'eau navigables sont ouverts au public en général.	9
Figure 9. Il est possible de déboiser une emprise de routes plus étroite puisque la pelle peut aller chercher les matériaux à proximité de la route.	10
Figure 10. Le fossé de drainage intercepte les eaux du sous-sol qui s'égouttent par les côtés du déblai.	11
Figure 11. Une pelle hydraulique peut creuser un fossé propre, facile à entretenir, qui facilite le drainage essentiel à l'entretien et à l'utilisation de la route. Elle donne aussi une route d'apparence plus esthétique.	11
Figure 12. Il est possible de réduire le nombre de bancs d'emprunt en employant une pelle hydraulique pour la construction des routes.	12
Figure 13. Rayon de basculement du godet.	14
Figure 14. Effet de la largeur du godet et de la longueur du bras d'excavation sur la durée de celui-ci.	14
Figure 15. Plaque de protection sous la structure supérieure.	17

	Page
Figure 16. Plaques de friction additionnelles sur le bras d'excavation et le godet.	18
Figure 17. Route construite par une pelle hydraulique dans une région qui présente de nombreux affleurements rocheux.	20
Figure 18. Méthode suggérée pour l'empilement du bois sur un chemin primaire.	21
Figure 19. Défrichement à l'aide d'un bulldozer.	22
Figure 20. Méthode de construction comportant l'enfouissement des déchets dans les fossés.	23
Figure 21. Fossé comblé par les déchets provenant du défrichement.	24
Figure 22. Fossé partiellement comblé par les déchets provenant du défrichement.	24
Figure 23. Traversée d'un terrain marécageux par une pelle hydraulique.	25
Figure 24. Dans les pentes rocheuses et abruptes, la pelle hydraulique peut travailler plus facilement.	26
Figure 25. Flanc de montagne abrupt coupé par la pelle hydraulique.	27
Figure 26. Défrichement à l'aide d'une pelle hydraulique.	27
Figure 27. Une assiette bien nivelée sur laquelle la pelle peut se déplacer en construisant la plate-forme permet de réduire l'usure de l'engin porteur et d'augmenter le confort de l'opérateur.	28
Figure 28. En étendant les matériaux de remblai à mesure qu'ils sont déchargés, on pourra construire une plate-forme régulière qui ne demandera par la suite qu'un minimum de travail de la part du bulldozer.	29
Figure 29. Diverses positions occupées par la pelle hydraulique pour extraire les matériaux de remblai.	30
Figure 30. Le bulldozer pousse les matériaux de remblai à portée de la pelle hydraulique.	32
Figure 31. La pelle alimente le bulldozer qui pousse ensuite les matériaux de remblai à l'endroit voulu sur la route.	32
Figure 32. Installation de ponceaux à l'aide d'une pelle hydraulique.	34
Figure 33. Il n'était pas rare de rencontrer de gros boulders.	40

	Page
Figure 34. Roche-mère affleurant à la surface.	40
Figure 35. Une partie du chemin no 4 passait entre deux montagnes.	41
Figure 36. Une partie du chemin no 4 suivait le contour d'une montagne.	42
Figure 37. La pelle hydraulique fournit le remblai au bulldozer qui le pousse le long de la route jusqu'à une dépression.	43
Figure 38. Conditions de terrain typiques où travaillait la pelle hydraulique.	45
Figure 39. Les pelles hydrauliques conviennent particulièrement bien à la construction des ponts ou aux travaux effectués dans des milieux très sensibles.	51
Figure 40. Pelle hydraulique Caterpillar 225 montée sur un engin porteur tout-terrain.	52

LISTE DES TABLEAUX

	Page
Tableau 1. Classification des routes et normes de construction.	35
Tableau 2. Comparaison du coût et de la production: chemins primaires, 1979-1981.	38
Tableau 3. Comparaison du coût et de la production: chemins secondaires, 1980-1981.	38
Tableau 4. Coûts de construction de trois tronçons de chemin de classe 3.	44
Tableau 5. Coût de construction routière.	49

SOMMAIRE

La pelle hydraulique (à godet) a été mise au point au cours des vingt-cinq dernières années. Depuis environ 10 ans, elle a été employée dans l'Ouest du Canada pour la construction de chemins forestiers, la configuration du terrain permettant parfois de construire la route entière à l'aide de la pelle hydraulique sans avoir recours au bulldozer. Dans les conditions rencontrées dans le Centre et l'Est du Canada, il semble préférable toutefois d'utiliser la pelle hydraulique comme complément au bulldozer. Chacune de ces deux machines possède en effet certaines caractéristiques qui la rendent plus apte à accomplir certains travaux que d'autres.

La pelle hydraulique a une aire d'action qui lui permet d'atteindre des matériaux inaccessibles au bulldozer. Elle exerce un contrôle plus précis sur les matériaux à déplacer et peut trier avec efficacité ceux qui sont indésirables, assurant ainsi une construction de meilleure qualité. Il est généralement peu pratique pour la pelle d'aller chercher des matériaux en-dehors de son aire d'action puisque sa vitesse de déplacement est beaucoup moins élevée que celle du bulldozer (4 km/h par rapport à 10 km/h). Par contre sa pression au sol est beaucoup plus faible, ce qui lui permet de travailler en certains endroits où ne peut aller le bulldozer.

L'emploi d'une pelle hydraulique en construction routière peut contribuer à atténuer le bouleversement inévitable de l'environnement naturel. Une emprise de route plus étroite permettra d'épargner une certaine étendue de terrain forestier productif et de réduire la superficie exposée à l'érosion. Un système de drainage efficace peut alors être mis en place et on a beaucoup moins besoin de bancs d'emprunt, d'où une diminution dans la dégradation de l'environnement.

Pour obtenir la meilleure performance possible, il est important d'avoir une pelle possédant les caractéristiques techniques appropriées. Outre les qualités techniques elles-mêmes des diverses machines, on doit également s'arrêter à certains éléments comme la longueur du bras d'excavation, la configuration de la flèche, le type de godet et sa contenance, l'engin porteur, ainsi que les plaques et les couvercles de protection additionnels. Certaines composantes, comme le bras d'excavation et le godet, affectent les forces des dents qui en résultent et ces forces à leur tour déterminent la gamme d'utilisations possibles et, en partie, le taux de production.

Il existe plusieurs techniques différentes pour la construction de chemins forestiers. L'utilisation d'une pelle influence, à des degrés divers, tous les aspects du travail de construction, depuis le tracé de la route jusqu'au gravelage. Il est important de connaître ce qu'une pelle peut et ne peut pas faire avant de déterminer le tracé.

Ainsi, avec une pelle hydraulique on pourra traverser certains endroits qui autrement devraient être contournés; on pourra donc couper une emprise de route plus étroite, et sur certains terrains le défrichement sera plus facile. Le jalonnement de la route permet de s'assurer que la bonne quantité de remblai soit placée au bon endroit, ce qui ajoute à l'efficacité. Le rôle principal de la pelle consiste probablement à construire la plate-forme du chemin en étendant les matériaux de remblai au fur et à mesure de leur déchargement. Le nivellement demande alors relativement peu de temps de la part du bulldozer. La pelle est la machine la plus appropriée à l'installation de ponceaux, pour ce qui est de la productivité et de la qualité du travail. Elle n'est toutefois pas très efficace pour le compactage, étant donné sa faible vitesse de déplacement. Comme elle possède la capacité de choisir les matériaux pour étendre une couche homogène de remblai, on sera assuré de n'avoir besoin que d'une quantité minimale de gravier pour finir la route.

Les données disponibles sur le coût et la productivité lors de l'emploi combiné de pelles hydrauliques et de bulldozers indiquent qu'il est possible d'augmenter la productivité et d'obtenir ainsi une réduction des coûts. Le grand nombre de variables impliquée empêche toute comparaison des coûts et de la productivité d'une entreprise à l'autre. On trouvera cependant dans ce rapport trois études de cas qui décrivent des opérations de construction routière combinant pelles hydrauliques et bulldozers.

Il peut également être avantageux d'utiliser les pelles pour la réfection d'anciennes routes, pour charger du gravier, pour extraire des remblais bien tassés et pour travailler dans des milieux particulièrement sensibles au point de vue environnemental, comme les traversées de cours d'eau. Équipées d'autres accessoires, elles peuvent aussi servir à charger du bois ou à concasser le roc.

Bien que la plupart des pelles hydrauliques utilisées pour la construction de chemins forestiers soient montées sur des châssis porteurs à chenilles, il existe maintenant des châssis porteurs tout-terrain montés sur roues. Une pelle hydraulique à roues peut présenter des avantages dans certaines conditions. Elle permettrait, par exemple, une vitesse de déplacement égale à celle d'un bulldozer. Bien qu'on ne l'ait pas encore mis à l'essai dans la construction de chemins forestiers, le concept pourrait sans doute s'appliquer si on ajoutait des roues additionnelles au châssis porteur. Mentionnons parmi les inconvénients un coût plus élevé et un engin porteur plus large.

1. INTRODUCTION

La recherche constante de moyens de contrôler les coûts sans cesse croissants de construction des chemins forestiers a suscité l'intérêt dans de nouvelles machines et de nouvelles techniques. Depuis environ dix ans, les compagnies forestières de l'Ouest du Canada ont employé des pelles hydrauliques (à godet) pour construire leurs routes et ont obtenu de bons résultats. Les compagnies du Centre et de l'Est du Canada sont de plus en plus nombreuses à essayer ce "nouvel" outil de construction. Cependant il n'existe que très peu de documentation écrite indiquant où, quand et comment utiliser à son mieux la pelle hydraulique. Un certain nombre d'articles ont paru dans la presse commerciale, mais ils sont nécessairement limités en profondeur et en étendue. La plupart des renseignements utiles ont été obtenus par des compagnies individuelles procédant par essais et par tâtonnements. À la suite de demandes émanant de ses membres, le Groupe des Exploitations forestières (L.O.G.) de l'Association canadienne des producteurs de pâtes et papiers a suggéré à FERIC de rassembler l'information pertinente, à savoir comment et où utiliser les pelles hydrauliques pour la construction de chemins forestiers. Nous avons donc entrepris un projet en ce sens, et le présent rapport spécial en est le résultat.

La méthode adoptée a consisté d'abord à fouiller la documentation écrite à la recherche de renseignements sur les pelles hydrauliques et leur utilisation. Nous avons ensuite visité un certain nombre de compagnies qui s'en servent et obtenu des renseignements de la part d'autres compagnies par le biais de lettres ou d'appels téléphoniques. Enfin nous sommes entrées en contact avec les fabricants de ces pelles afin de profiter de leur expérience et de leurs connaissances générales. L'information a ensuite été analysée et présentée de façon à s'attacher à la machine elle-même et aux techniques de construction routière qu'elle suppose. Le rapport est d'ordre général et couvre la plupart des aspects de la construction de chemins forestiers où l'on peut se servir d'une pelle hydraulique. La section portant sur le coût et la productivité comprend trois études de cas qui décrivent des opérations combinant pelles hydrauliques et bulldozers. Le grand nombre de variables impliquées ne permet pas une analyse en profondeur des données peu nombreuses actuellement disponibles, mais les études de cas donnent une idée des coûts et des productivités dans diverses conditions. Nous espérons que le rapport servira à faire ressortir les critères à considérer avant de faire appel à une pelle hydraulique, de même que comment et où on peut l'utiliser efficacement. Il peut aussi aider à identifier et à reconnaître les limitations de la machine.

2. HISTORIQUE

Environ une dizaine d'années avant l'apparition des pelles hydrauliques, on rencontrait des machines fonctionnant à l'aide d'un câble. Ces pelles mécaniques servaient depuis le milieu des années '30, jusqu'au milieu des années '50, à l'excavation générale, à l'excavation de fondations et au creusage de tranchées. La contenance des godets pouvait varier de 0.3 à 0.6 m³. À l'époque, ces machines faisaient du bon travail et offraient plusieurs avantages d'ordre pratique: pas de camions dans l'excavation, pas de rampe d'accès, pas de problèmes de flottaison ni d'écoulement des eaux dans la zone de chargement. Cependant, le design des engins de construction, leur mise au point et leur gamme d'utilisation se sont modifiés rapidement au cours des années '40 et '50. Des chargeuses à chenilles plus puissantes mues par des moteurs diesel et des chargeuses à roues sont devenues disponibles, de même que des pneus industriels pour usage hors-route et des commandes hydrauliques. Ces progrès ont entraîné une baisse dans l'emploi des pelles mécaniques pour les travaux d'excavation générale, mais non pour la construction de réseaux d'aqueduc et d'égouts.

Les travaux de mise au point de la première pelle hydraulique commencèrent aux États-Unis en 1945. Il s'agissait alors d'un accessoire qu'on ajoutait à un tracteur agricole. Monté à l'arrière, il était actionné par le bras de relevage à commande hydraulique. En 1947, on ajouta le mécanisme de rotation de la pelle et on commença la production l'année suivante. Au début le godet était attaché au bras d'excavation en position fixe, mais possédait un réglage manuel de l'angle d'attaque.

Au milieu des années '60, la technologie hydraulique était suffisamment avancée pour que tous les outils et les mécanismes des pelles puissent fonctionner hydrauliquement. La fabrication de petites pelles hydrauliques dont le godet avait une contenance de 0.3 à 0.5 m³ devint rapidement l'un des secteurs les plus importants du marché de l'équipement de construction. À mesure que se faisait sentir la demande pour des machines plus grosses, les fabricants produisaient des transmissions et des actuateurs hydrauliques plus efficaces et plus puissants. Les pelles hydrauliques sont maintenant disponibles dans une gamme variée de dimensions, y compris une machine dont le poids brut est de 475,000 kg et la contenance du godet de 22 m³.

3. CONSTRUCTION DE CHEMINS FORESTIERS DANS LE CENTRE ET L'EST DU CANADA

3.1 Équipement communément employé

Traditionnellement le bulldozer constitue l'outil le plus communément employé à la construction de chemins forestiers. Il a servi, et sert encore dans une large mesure, à dégager l'emprise de route, à faire déblais et remblais et à préparer une plate-forme bien nivelée.

On se sert parfois de décapeuses autochargeuses et automatrices, le plus souvent lorsqu'il faut transporter de forts volumes de matériaux sur des distances plus longues que celles auxquelles le bulldozer peut les pousser économiquement.

Les chargeuses frontales, les camions à gravier et les niveleuses servent au cours de la dernière phase de construction de la route à donner à la surface de celle-ci sa forme finale. En certains endroits on emploie également des compacteurs.

Dans l'Ouest du Canada, la pelle hydraulique a servi à la construction de chemins forestiers (figure 1) depuis le début des années '70. Étant donné les conditions de terrain particulières à cette partie du pays, elle a en certaines occasions remplacé avantageusement le bulldozer dont elle réussissait à remplir toutes les fonctions. Jusqu'à très récemment, elle n'était guère employée dans les exploitations forestières du Centre et de l'Est du Canada. Cependant à l'heure actuelle, on s'en sert pour accomplir quelques-unes des fonctions qui revenaient traditionnellement au bulldozer (figure 2). Comme on pourra s'en rendre compte à la lecture du présent rapport, la pelle hydraulique ne remplace pas le bulldozer, mais en constitue plutôt un complément. Elle peut remplir certaines fonctions avec plus d'efficacité.



Figure 1. Pelle hydraulique utilisée pour la construction de chemins forestiers dans l'Ouest du Canada.



Figure 2. Pelle hydraulique utilisée pour la construction de chemins forestiers dans l'Est du Canada.

4. COMPARAISON ENTRE QUELQUES-UNES DES CARACTÉRISTIQUES DE LA PELLE HYDRAULIQUE ET DU BULLDOZER

4.1 Aire d'action

L'aire d'action de la pelle hydraulique se définit comme l'espace environnant dans lequel, tout en restant stationnaire, elle peut atteindre des matériaux et les déplacer. La profondeur de creusage et la portée de déchargement sont toutes deux déterminées par la portée combinée de la flèche, du bras d'excavation et du godet (figure 3).

La portée de la machine en profondeur et en hauteur lui permet de récupérer des matériaux inaccessibles au bulldozer (figure 4). Elle peut également travailler à un niveau plus élevé que celui où elle est installée, ayant ainsi moins de matériaux à déplacer que le bulldozer lorsqu'elle coupe dans le flanc d'une montagne. Elle peut également remonter la terre en talus avec le dos du godet, jusqu'à l'angle de pente critique, au-dessous duquel il ne se produit pas de glissement (figure 5).

Le bulldozer n'a pas une aire d'action clairement définie. On l'emploie généralement à l'intérieur d'un secteur dont les limites sont déterminées par les conditions de travail plutôt que par les limitations de la machine. Il peut déplacer des matériaux sur une distance beaucoup plus grande que la pelle, mais il ne peut enlever qu'une couche relativement mince à chaque passage. Pour la formation du talus, il est limité à des angles relativement faibles et doit donc déplacer une plus grande quantité de matériaux.

La figure 6 illustre la gamme d'utilisation des divers engins de terrassement.

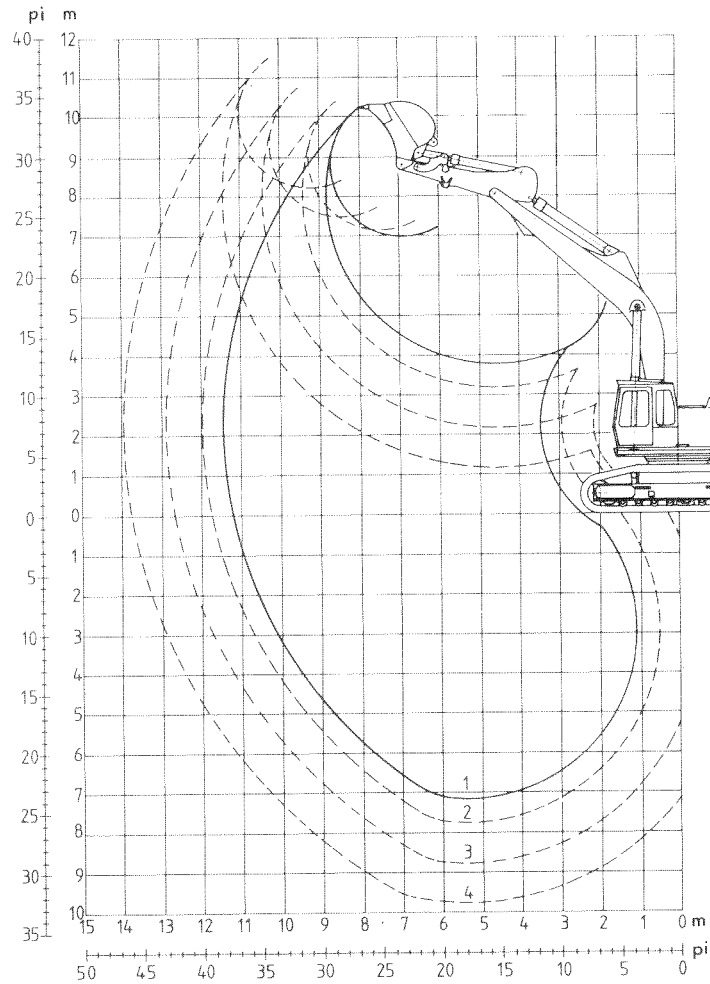


Figure 3. Profondeur de creusage et portée de déchargement d'une pelle hydraulique (Liebherr R972HD) avec flèche en col de cygne de 23'3"/7100 mm).



Figure 4. Souvent la pelle hydraulique peut extraire à proximité de la route une quantité suffisante de matériaux dont la plus grande partie serait inaccessible au bulldozer.



Figure 5. Talus formé par une pelle hydraulique.

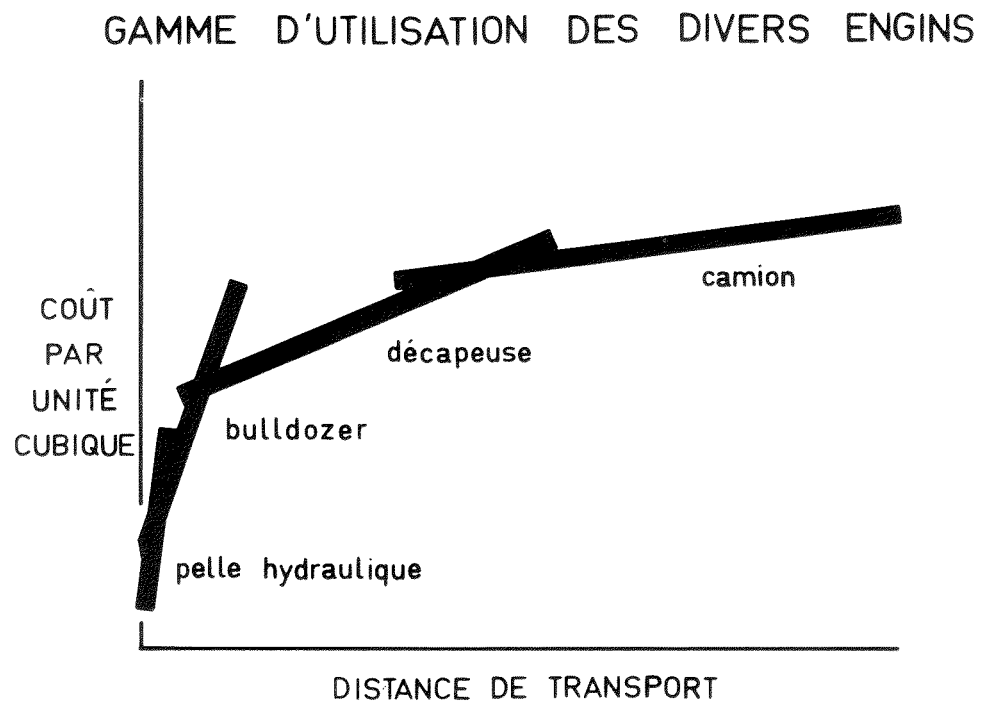


Figure 6. Gamme d'utilisation des divers engins.

4.2 Contrôle des matériaux

La pelle hydraulique transporte les matériaux dans son godet alors que le bulldozer les déplace avec sa lame. On peut illustrer la différence dans le contrôle que les deux engins possèdent sur les matériaux déplacés en la comparant à la différence dans le contrôle qu'une personne exerce sur un objet qu'elle déplace avec sa main sans bouger elle-même et l'objet qu'elle pousse avec le côté de son pied, tout en marchant. La pelle exerce donc un contrôle beaucoup plus précis.

Cette aptitude de la pelle à contrôler les matériaux signifie qu'elle peut, avec beaucoup d'efficacité, choisir ceux qui conviennent le mieux et les placer exactement là où il faut pour obtenir une plate-forme homogène. Elle peut également trier les matériaux et écarter ceux qui sont indésirables.

Le bulldozer ne réussit pas à séparer les divers matériaux aussi bien que la pelle. S'il y a de la terre organique mêlée aux sols minéraux, le mélange devient impropre à la construction routière. En terrain ondulé, le bulldozer peut éprouver des difficultés à n'enlever qu'une couche à la fois. Les sols organiques se mêlent facilement aux sols minéraux entraînant ainsi la confection d'une plate-forme de moins bonne qualité. Le mouvement normal de va-et-vient du bulldozer peut de plus accentuer la formation du mélange rendant les sols encore moins appropriés. La pelle qui travaille tout en restant sur place ne dérange que très peu les matériaux de surface.

Un des problèmes les plus importants lors de la construction de chemins forestiers réside dans le contrôle de l'eau et de la vase. La pelle hydraulique y réussit beaucoup mieux que le bulldozer.

Elle manipule aussi plus facilement les arbres coupés. Elle peut agripper un arbre entre le godet et le bras d'excavation et le déplacer avec précision sans le briser (figure 7). Lorsqu'il s'agit d'arbres ou de billes de bonne longueur, cette manutention peut entraîner une torsion dommageable pour le bras d'excavation et la flèche si l'arbre n'est pas saisi en son centre de gravité. Il existe des dispositifs spéciaux commandés hydrauliquement qui s'ajoutent au godet pour la manutention d'arbres ou de billes. Ils sont escamotables lorsqu'on n'en a pas besoin. Ils sont utiles aux opérateurs inexpérimentés et pour la manutention des bois courts.

Figure 7. Déplacement des arbres à l'aide de la pelle hydraulique.



4.3 Quantité de matériaux déplacés par cycle de travail

Plusieurs facteurs peuvent influencer la quantité de matériaux déplacés à chaque cycle de la pelle hydraulique ou du bulldozer. Mentionnons entre autres: le type de matériaux et leur compacité; l'état du sol; la distance à laquelle il faut les déplacer; l'adresse de l'opérateur; les dimensions de la machine, sa condition et ses caractéristiques. Il est donc très difficile d'établir une comparaison entre les deux types de machines en se basant sur la quantité de matériaux déplacés par cycle de travail.

4.4 Vitesse de déplacement

La pelle hydraulique est conçue pour travailler alors qu'elle est arrêtée et possède donc une vitesse de déplacement faible (environ 4 km/h maximum) comparativement à celle du bulldozer (environ 10 km/h maximum). Ceci constitue un inconvénient si les exploitations nécessitent de fréquents déplacements entre les sites de travail. Le cas peut se présenter lorsque la pelle est aussi utilisée comme grue forestière ou lorsqu'elle sert à construire certains tronçons choisis de routes différentes. La machine est alors lente à se rendre par ses propres moyens; par contre il est coûteux de la transporter à l'aide d'un fardier.

Sa basse vitesse est également un inconvénient si la machine doit servir à tasser le remblai dans la plate-forme de la route. En plus de prendre plus de temps, cela la dérange de sa fonction principale qui est le creusage. Le bulldozer semble alors plus approprié au compactage et il peut en même temps étendre les matériaux de remblai.

4.5 Pression au sol

Les pelles hydrauliques de dimensions généralement employées pour la construction de chemins forestiers ont, le plus souvent, une pression au sol inférieure à celle des bulldozers de taille correspondante, ce qui constitue un avantage en terrain humide. Là où le bulldozer peut avoir besoin de l'aide d'un autre véhicule s'il s'embourbe, la pelle se tirera généralement d'affaire elle-même en se servant de sa flèche et de son bras. Elle peut également, si nécessaire, se construire à l'aide de souches et de déchets, un tapis à partir duquel elle pourra travailler. Le bulldozer n'a pas cette faculté et est donc plus susceptible de rester embourbé en terrain marécageux.

5. CONSIDÉRATIONS ENVIRONNEMENTALES LORS DE LA CONSTRUCTION DE CHEMINS FORESTIERS

Les entreprises forestières sont soumises à une pression toujours plus grande de la part du public en général, de groupes soucieux de la qualité du milieu et d'organismes gouvernementaux, afin de diminuer



Figure 8. Les chemins forestiers et les cours d'eau navigables sont ouverts au public en général.

l'impact que certaines méthodes de travail en forêt peuvent exercer sur l'environnement naturel. Le premier contact du public avec les exploitations forestières se fait souvent au moment de voyages d'agrément sur des chemins forestiers ou sur des cours d'eau navigables (figure 8). L'emploi de mauvaises techniques de construction est susceptible d'augmenter la pression en faveur du changement.

Toute construction routière entraînera inévitablement une certaine détérioration de l'environnement naturel, détérioration qui peut parfois être atténuée par l'emploi d'une pelle hydraulique. Il est ainsi possible, en plusieurs endroits, de déboiser une emprise de route plus étroite, puisque la plus grande partie des matériaux d'infrastructure se trouvent à proximité de la route (figure 9). La méthode traditionnelle qui consiste à rouler la couche organique supérieure jusqu'à la lisière d'une large emprise de route est moins nécessaire pour accéder à une quantité suffisante de sol minéral.

L'étendue de territoire forestier qui peut demeurer productif si l'emprise de route est plus étroite se situe dans l'ordre de un à trois hectares par kilomètre de route (correspondant à une réduction en largeur de 10 à 30 m).



Figure 9. Il est possible de déboiser une emprise de route plus étroite puisque la pelle peut aller chercher les matériaux à proximité de la route.

La largeur de l'emprise devrait évidemment demeurer suffisante pour satisfaire aux exigences de la sécurité routière et permettre à la route de l'assécher.

La construction de la plate-forme du chemin entraîne une grave perturbation du sol et constitue une menace sérieuse d'érosion et d'envasement des cours d'eau. Un bon système de drainage aidera à diminuer cette menace. Des fossés et des ponceaux de dimensions appropriées permettront à la nappe phréatique de demeurer en-dessous de la surface de la route et aux eaux de ruissellement de s'égoutter rapidement. Les fossés ne captent pas uniquement l'eau de ruissellement en surface; ils interceptent également l'eau du sous-sol qui s'écoule par les côtés du déblai. Un fort pourcentage des eaux de drainage du talus provient de l'écoulement des eaux du sous-sol (figure 10).

De par leur design lui-même, les pelles hydrauliques conviennent particulièrement bien à la construction de fossés. Elles servent à creuser des fossés propres, faciles à entretenir, avec une bonne profondeur de chaque côté, d'où une plate-forme bien drainée qui s'assèche rapidement (figure 11). Même s'ils sont capables de creuser des fossés, les bulldozers sont plus difficiles à manoeuvrer et ne donnent pas d'aussi bons résultats.



Figure 10. Le fossé de drainage intercepte les eaux du sous-sol qui s'égouttent par les côtés du déblai.



Figure 11. Une pelle hydraulique peut creuser un fossé propre, facile à entretenir, qui facilite le drainage essentiel à l'entretien et à l'utilisation de la route. Elle donne aussi une route d'apparence plus esthétique.

La route construite à l'aide d'une pelle hydraulique offrira un meilleur coup d'oeil que celle construite avec un bulldozer. Il est important autant pour le contrôle de l'érosion que pour l'apparence esthétique de ne pas perturber la végétation naturelle et on doit essayer d'en minimiser la destruction sur l'emprise de route au moment de la confection de la plate-forme. Si la quantité précise de matériaux nécessaires peut être extraite et placée à l'endroit voulu, on évitera la présence de tas disgracieux de remblai superflu et de la plupart des bancs d'emprunt (figure 12). On obtiendra ainsi une dégradation moins grande de l'environnement.



Figure 12. Il est possible de réduire le nombre de bancs d'emprunt en employant une pelle hydraulique pour la construction des routes.

6. QUELQUES CRITÈRES DE CHOIX D'UNE PELLE HYDRAULIQUE

Il existe probablement environ une douzaine de marques différentes de pelles hydrauliques en Amérique du Nord, chacune dans une gamme variée de dimensions. Le choix de l'une d'entre elles, qu'il s'agisse d'un achat, d'une location à bail ou d'une location occasionnelle, dépend donc dans une certaine mesure de la présence dans la région d'un représentant du fabricant. Un service rapide et efficace en cas de panne est en effet essentiel, d'autant plus que la saison de construction est généralement courte (saison qui peut toutefois être prolongée par l'emploi d'une pelle hydraulique). Les arrangements financiers sont évidemment aussi à considérer.

D'autres facteurs entrent en ligne de compte, particulièrement au moment de décider du modèle ou des dimensions de la machine. Mentionnons entre autres: le type de terrain, la technique utilisée, la quantité de travail à accomplir, etc. Si on doit acheter la machine, ou la louer sur une base annuelle, on peut songer à la possibilité de l'utiliser au cours de l'hiver, peut-être comme chargeuse forestière. On a également des choix à faire, quant à la largeur et au type de chenilles, au type de flèche, à la longueur du bras d'excavation ainsi qu'au type de godet et à ses dimensions.

La Power Crane and Shovel Association (PCSA), qui est un service de la Construction Industry Manufacturers Association (CIMA) aux États-Unis, a publié un document intitulé: "Standard No. 3: Mobile Hydraulic Excavator Standards" (no 46 de notre bibliographie). La plupart des fabricants de pelles hydrauliques en Amérique du Nord suivent ce document en publiant les caractéristiques techniques de leurs produits. Ceci facilite la comparaison d'une marque à l'autre et d'un modèle à l'autre.

Les paragraphes qui suivent comportent une discussion des diverses options disponibles et de la façon dont elles influencent le fonctionnement de la pelle hydraulique. Le premier problème consiste toutefois à décider de la grosseur de la machine dont on a besoin. Ceci dépend du type de terrain où l'engin devra travailler de même que du genre de travail à accomplir.

6.1 Forces des dents

Plus le sol est dur et résistant, plus la force des dents du godet doit être élevée (voir terminologie p. 58). L'intensité de cette force dépend principalement du poids de la machine, de la distance entre la machine et le godet et du type de godet et de ses dimensions. Elle peut également être modifiée en choisissant des vérins hydrauliques de différentes grosseurs pour le godet et le bras d'excavation.

L'emploi de dents plus résistantes augmente la variété de matériaux susceptibles d'être extraits par la pelle hydraulique et la gamme d'utilisation possible. Ainsi, par exemple, elles peuvent permettre de creuser du roc plutôt tendre sans avoir à recourir au dynamitage ou au défonçage. La production pourrait aussi augmenter, puisque la pelle est alors capable de remplir son godet plus rapidement et de raccourcir ainsi le temps du cycle.

6.2 Bras d'excavation et godet

L'acheteur d'une pelle hydraulique ou son utilisateur peut jusqu'à un certain point déterminer les forces des dents par le choix du bras d'excavation et du godet. Il obtiendra des forces plus élevées avec un bras d'excavation court et un godet à court rayon de basculement.

L'emploi d'un bras d'excavation plus court peut augmenter de 25 à 30% la force de creusage, mais il réduit en même temps la portée d'environ 0.8 à 1.5 m.

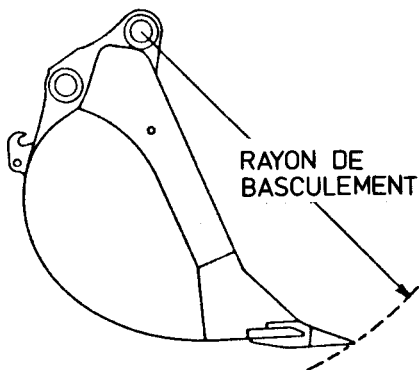


Figure 13. Rayon de basculement du godet.

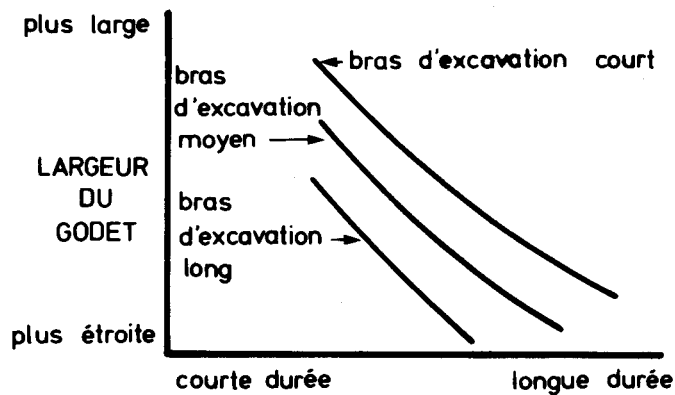


Figure 14. Effet de la largeur du godet et de la longueur du bras d'excavation sur la durée de celui-ci.

L'emploi d'un godet à court rayon de basculement (figure 13) plutôt qu'à rayon plus long peut augmenter la force d'arrachement de 5 à 12%. La portée se trouvera alors réduite de 0.05 à 0.20 m.

Règle générale, plus les matériaux sont tendres, plus on peut employer un godet large et vice versa. Dans des matériaux durs à creuser ou en sol rocheux, le taux de production peut rester le même si on diminue la largeur du godet. En fait, l'application d'une force plus élevée par mm d'arête tranchante peut augmenter la production en permettant de creuser plus vite.

L'emploi de godets plus larges peut raccourcir la durée du bras d'excavation, à cause du mouvement de torsion qui se produit lorsque le coin du godet frappe un objet "fixe" en creusant. À la longue la répétition de ce mouvement entraînera la fatigue du métal et provoquera un bris dans le bras d'excavation. La figure 14 montre la relation entre la durée du bras et la largeur du godet.

Un bras plus long représente un risque plus élevé de dommages à des composantes telles que la flèche, le bras d'excavation et la partie du châssis supportant la tourelle, dommages qui peuvent survenir si dans son mouvement de balancement, le bras accroche souches, arbres ou roches. Un balayage avec le godet pour niveler les matériaux d'infrastructure peut également entraîner ce genre de dommages.

Il existe plusieurs catégories de godet, depuis les godets à robustesse ultra grande pour travailler dans du sol extrêmement dur, les godets à très grande robustesse pour le roc dur et autres travaux difficiles, les godets à grande robustesse pour les travaux où l'on rencontre occasionnellement du roc, jusqu'aux godets à robustesse moyenne et légère pour les matériaux tendres.

Les conditions locales détermineront quelle est la combinaison de bras d'excavation et de godet qui donnera la production optimale.

6.3 Contenances du godet

Pour chaque pelle hydraulique de dimensions données, il existe généralement plusieurs godets de types, de marques et de dimensions variés. Le choix d'un godet approprié est un élément important pour assurer une production et un rendement satisfaisants. Les contenances sont déterminées (en Amérique du Nord) selon les normes PCSA No. 3 et SAE J296. Les godets de fabrication européenne correspondent aux normes CECE (Committee on European Construction Equipment). Les normes SAE J296 et PCSA No. 3 sont semblables bien que la dernière remonte à une date plus ancienne. Les deux spécifient des contenances rases et des contenances combles. La largeur du godet constitue sans doute une mesure mieux connue. On doit toutefois se rappeler que les caractéristiques peuvent faire mention de trois (3) largeurs différentes: i) la largeur de tranchée - mesurée à l'extérieur des dents coupantes ou des tranchants latéraux; ii) la largeur du godet - mesurée à l'extérieur du godet lui-même; iii) la largeur du godet - mesurée à partir de l'arête tranchante à l'intérieur du godet. Pour comparer les contenances et les dimensions, il est nécessaire de savoir quelles ont été les normes utilisées de même que le type de mesure dont il est question.

Les n^{os} 22 et 23 de notre bibliographie décrivent en détails la façon de garder en bon état de marche les godets des pelles hydrauliques.

Les godets peuvent être changés en quelques minutes seulement à l'aide d'un dispositif d'attache rapide. Grâce à ce dispositif, il est possible d'utiliser un godet plus large pour les matériaux tendres, c'est-à-dire le sable, les tourbières, les sols organiques, et de passer à un godet plus étroit pour l'enlèvement des souches et l'extraction de matériaux plus durs.

6.4 Flèche

Certains fabricants de pelles hydrauliques offrent le choix de flèches monobloc ou à portée variable. On peut se demander laquelle convient le mieux à la construction de chemins forestiers. La flèche monobloc semble être celle qui est utilisée le plus souvent. Elle a une longue portée et une bonne profondeur de creusage. De plus, son poids est relativement faible, sa force de levage est bonne et son prix est inférieur à celui de la flèche à portée variable. On la recommande généralement pour les travaux les plus durs.

La flèche à portée variable est plus polyvalente puisque sa partie antérieure se déploie ou se rétracte pour adopter deux ou trois positions différentes. On obtient ainsi une portée et une hauteur variables, mais également une stabilité et une force de levage variables. Lorsque sa partie antérieure est déployée, cette flèche peut avoir la même aire d'action que la flèche monobloc tout en permettant une plus grande hauteur de levage. Par contre on peut utiliser de plus grands godets avec la flèche antérieure complètement rétractée et un bras d'excavation court; cette combinaison donnerait un rendement maximal, par exemple, pour le chargement d'un camion, mais conviendrait moins bien à la construction de chemins d'exploitation.

6.5 Engin porteur

Les pelles hydrauliques ne se déplacent pas autant que les bulldozers puisqu'elles ne le font que pour déménager à un nouveau site de travail. Leurs engins porteurs sont par conséquent généralement plus petits par rapport au poids de la machine qu'ils supportent.

Les pièces qui constituent l'engin porteur d'un bulldozer s'usent en fait à cause du déplacement constant. Celui de la pelle se détériore le plus souvent par la fatigue due à l'application répétée de charges concentrées, de chocs et de moments de flexion et de torsion. La plus grande partie de ces charges se fait sentir lorsque la machine est stationnaire. L'application de charges concentrées et de chocs se produit au moment où les galets et les roues de tension restent immobiles pendant que la machine travaille. Les charges de flexion résultent de l'appui mal réparti de la machine sur un sol inégal. Des patins de chenilles plus larges, tout en réduisant la pression au sol, n'en augmentent pas moins considérablement les charges de flexion et de torsion.

Parmi les autres facteurs affectant la durée de vie de l'engin porteur d'une pelle hydraulique, mentionnons les fortes poussées latérales ressenties lors du démarrage et de l'arrêt du mécanisme de rotation de la tourelle, le mauvais alignement des galets et des maillons de chenilles lorsque la machine oscille sur un sol inégal tout en travaillant, et les forces très élevées appliquées aux roues de tension lorsque la machine creuse et lève sa charge.

Les pelles qui travaillent sur des sols relativement plats et mous, exempts de roches et de souches, éprouvent généralement peu de problèmes, sinon aucun, avec leur engin porteur. Cependant si la même machine est placée dans des conditions beaucoup plus rigoureuses, la détérioration de l'engin porteur peut survenir très rapidement. On peut prolonger la durée de vie d'un modèle donné en utilisant un engin porteur de dimensions plus fortes que la normale.

Pour chaque modèle de pelle, il existe plusieurs chenilles de largeur différente. On devrait choisir la plus étroite qui réussit à satisfaire aux besoins de flottaison selon les conditions de travail données. Si on se sert de chenilles larges en terrain accidenté, il est très avantageux pour la durée de vie de l'engin porteur d'équiper les chenilles sur toute leur longueur de guides protecteurs. Ils amélioreront l'alignement des chenilles avec les galets, les barbotins et les roues de tension.

Il y a en outre des patins à nervure simple, double et triple. Les patins à nervure simple sont ceux qui assurent la meilleure traction, ce qui peut être pratique en terrain montagneux; par contre, ils rendent les virages plus difficiles dans des sols cohérents.

On trouve pour certaines marques de pelles des engins porteurs plus longs. Ils diminuent la pression au sol, et améliorent la stabilité frontale, mais n'influencent que très peu la stabilité latérale. Ils rendent également les virages plus difficiles.

L'opérateur peut contribuer à augmenter la durée de vie de l'engin porteur en utilisant des techniques appropriées, par exemple:

- i) s'assurer qu'en travaillant la machine repose sur une base qui soit de niveau, plutôt que d'être supportée en deux ou trois points sur des roches;
- ii) travailler vers l'avant plutôt que vers le côté afin de réduire le soulèvement répété du bâti opposé. Ce soulèvement pourrait entraîner l'usure des maillons, des galets, des axes et des bagues lorsque le bâti touche à nouveau au sol;
- iii) effectuer des virages graduels, causant ainsi moins de poussée latérale;
- iv) assurer une tension adéquate des chenilles.

6.6 Protection supplémentaire

Une pelle ordinaire ne possède généralement pas les dispositifs de protection suffisants pour travailler dans un environnement aussi rigoureux que celui que l'on rencontre lors de la construction de chemins forestiers. La protection additionnelle de certaines pièces est donc parfois justifiée.

Une plaque de protection peut être montée sous la structure supérieure (figure 15) pour la protéger des débris de toutes sortes qui sont poussés par dessous. Les passerelles à découvert sur la structure supérieure peuvent également nécessiter l'ajout de plaques protectrices.

Il peut être utile de mettre une plaque de friction sur le bras d'excavation, à l'endroit où il peut entrer en contact avec les dents du godet (figure 16). La figure 16 montre également une plaque de friction additionnelle soudée sur le côté du godet. On devrait normalement choisir un godet assez fort pour accomplir le travail projeté.

Figure 15. Plaque de protection sous la structure supérieure.

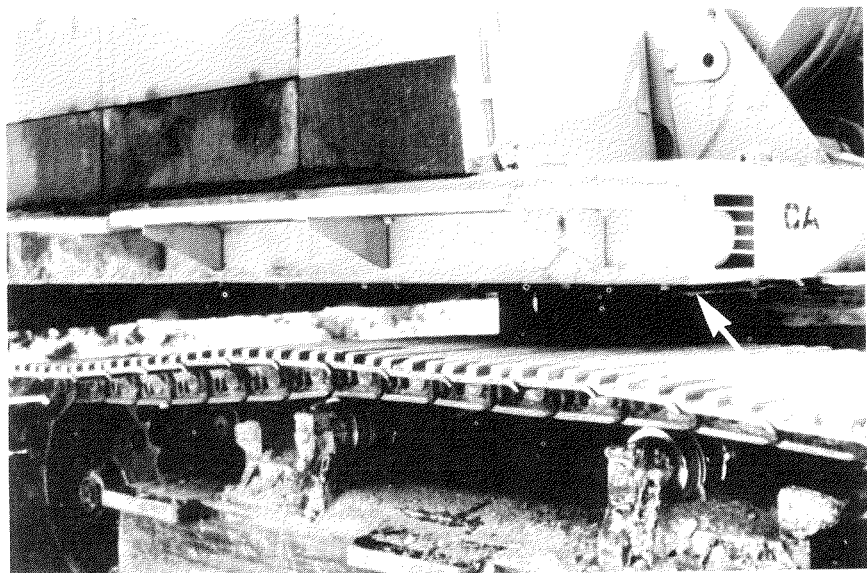
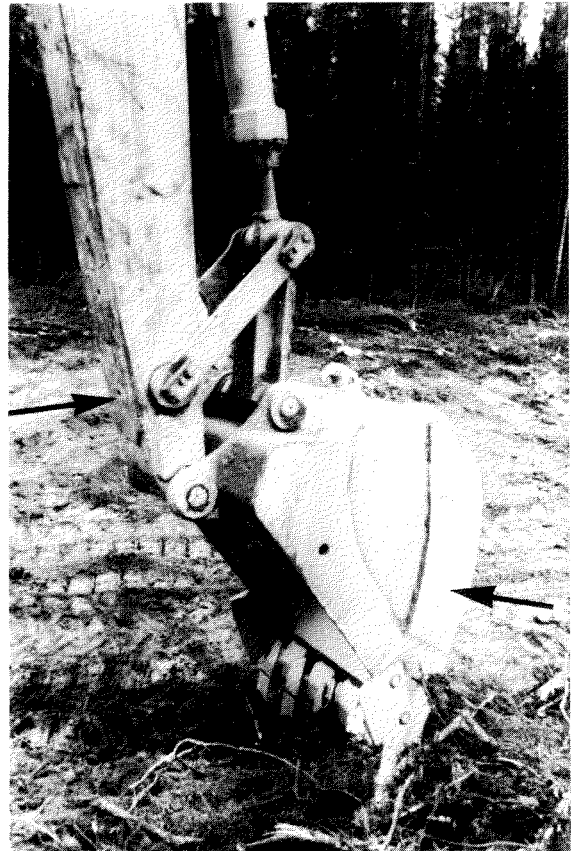


Figure 16. Plaques de friction additionnelles sur le bras d'excavation et le godet.



Il faudrait également songer à une protection additionnelle pour l'opérateur. Un grillage métallique robuste ou des barreaux de métal à la fenêtre avant le protégeront contre tout débris susceptible d'être poussé à travers la fenêtre. Les cadres de protection ROPS ne sont pas exigés sur les pelles hydrauliques.

7. TECHNIQUES DE FONCTIONNEMENT DE LA PELLE HYDRAULIQUE

Il y a probablement autant de techniques de fonctionnement qu'il y a de compagnies utilisant les pelles hydrauliques. Ces machines ne servent à la construction de chemins forestiers que depuis peu de temps, et les meilleures techniques ne sont sans doute pas encore au point. Les techniques employées à l'heure actuelle dépendent dans une large mesure du terrain. Certaines entreprises se servent de pelles quel que soit le type de terrain que la route puisse rencontrer, alors que d'autres ne les emploient qu'à certains endroits déterminés. Il est difficile de savoir ce qui est préférable; aussi chaque compagnie peut-elle désirer faire certaines expériences avec les méthodes décrites ici afin de trouver celle qui répond le mieux à ses besoins.

Il peut arriver qu'une pelle hydraulique soit capable de construire une route sans demander ou que très peu l'aide d'un bulldozer. Les conditions de terrain rencontrées sur la côte ouest du Canada se prêtent parfois très bien à l'emploi de cette technique. Il n'y a cependant aucun doute que dans le Centre et l'Est du Canada, le meilleur usage de la pelle hydraulique consiste à s'en servir comme complément au bulldozer plutôt que comme remplacement. On peut évidemment rencontrer des exceptions.

La construction d'un chemin forestier suit généralement le déroulement habituel suivant:

- le tracé de la route
- le déboisement de l'emprise de route
- le défrichement
- le jalonnement
- la construction de la plate-forme
- le nivellement et le compactage de la plate-forme
- l'installation des ponceaux
- le gravelage

L'emploi d'une pelle hydraulique pour la construction d'un chemin peut avoir une influence sur chacune de ces opérations, soit directement, soit indirectement. Il en sera question dans les paragraphes suivants.

7.1 Tracé de route

Au moment de tracer la route, il est important de savoir ce que la pelle peut et ne peut pas faire!

Les aptitudes bien particulières de la pelle permettent en effet à la route de traverser des terrains qu'autrement on devrait éviter:

- des marécages trop grands pour qu'un bulldozer puisse les traverser par ses propres moyens;
- des terrains humides demandant un triage minutieux des matériaux qui serviront à la construction de la route;
- des terrains présentant de nombreux affleurements rocheux (figure 17) où les matériaux devant servir à la construction de la route sont situés dans de petites poches inaccessibles au bulldozer.

Par ailleurs, s'il n'y a qu'une mince couche de sol par-dessus une roche-mère régulière, la pelle peut être incapable de rassembler suffisamment de remblai à l'intérieur de son aire d'action. Un bulldozer sera alors préférable.



Figure 17. Route construite par une pelle hydraulique dans une région qui présente de nombreux affleurements rocheux.

7.2 Déboisement de l'emprise de route

En planifiant le déboisement de l'emprise de route, on doit songer à la vitesse accélérée de construction qui est susceptible de se produire si on combine une pelle hydraulique et un bulldozer. Là où l'équipe de bûcherons peut progresser à raison de 75 à 100 mètres par poste de travail, l'équipe de construction couvrira peut-être la même distance en quelques heures. On pourrait réduire quelque peu ce déséquilibre en déboisant une emprise de route aussi étroite que possible (voir page 9).

Pour les routes principales d'exploitation, le remblai provient le plus souvent des deux côtés de la route. On peut donc avoir à empiler le bois d'une façon légèrement différente de la méthode habituelle. Plutôt que de l'empiler le long de la route principale elle-même, on le fera le long de courts sentiers d'accès tel qu'illustré à la figure 18.

Le long de routes secondaires et de chemins forestiers; l'empilement du bois qui provient de l'emprise de route peut se faire en alternant de façon à ce que la pelle trouve toujours un côté de la route libre où elle peut aller chercher le remblai. C'est aussi par là qu'on accèdera plus tard à la forêt.

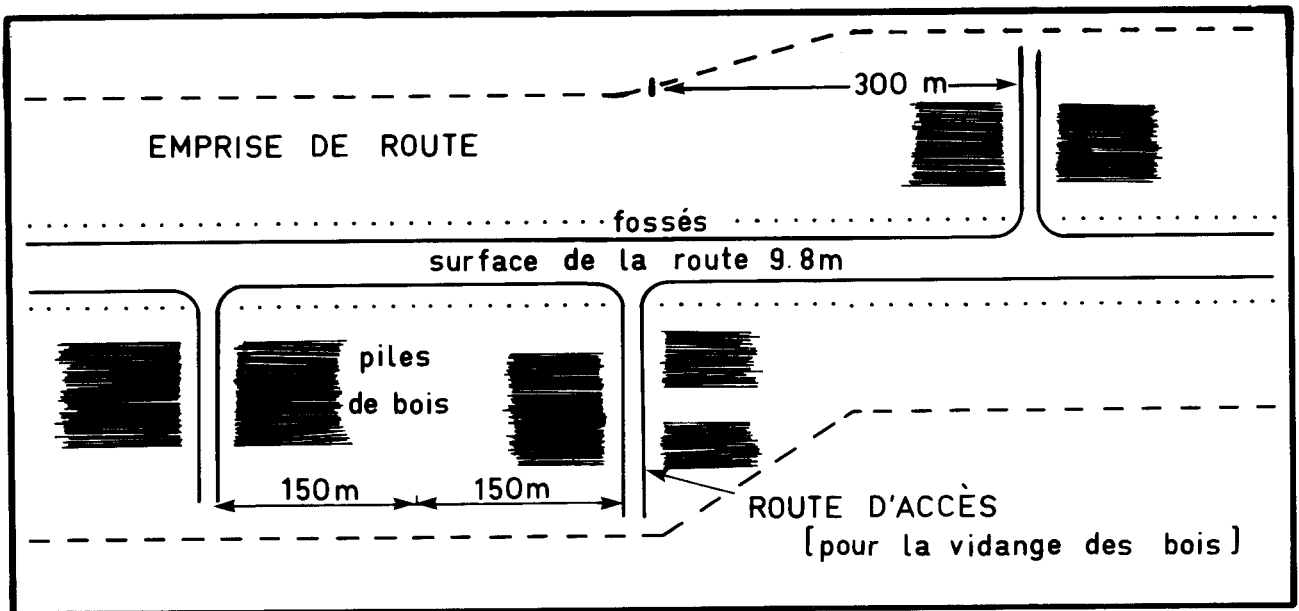


Figure 18. Méthode suggérée pour l'empilement du bois sur un chemin primaire (adapté à partir du no 36 de notre bibliographie).

7.3 Jalonnement

Le jalonnement des routes principales au moment de la construction est important pour deux raisons: pour maximiser l'efficacité de l'équipement de construction et pour produire des routes bien alignées de bonne qualité.

Comme les jalons sont souvent jetés à terre au cours de la construction, le jalonnement doit être toujours en cours. Plus la machine doit déplacer une grande quantité de matériaux, plus les jalons sont importants. Dans une combinaison pelle hydraulique-bulldozer, c'est généralement la première qui construit la plate-forme. Lorsque les jalons sont en place, l'opérateur peut déposer la bonne quantité de remblai au bon endroit.

7.4 Défrichement à l'aide du bulldozer

Généralement désignée par le terme défrichement, la préparation du sol avant la mise en place du remblai comporte la manutention de déchets de dimensions et de formes diverses (figure 19). Ces déchets comprennent les arbres non marchands, les souches, les branches, les boulders et les sols organiques. Des matériaux de ce genre peuvent probablement être déplacés plus efficacement avec la lame d'un bulldozer qu'avec le godet d'une pelle même si les distances sont le plus souvent assez courtes. Dans certaines conditions, dont nous traiterons plus tard, le défrichement se fera mieux à l'aide d'une pelle hydraulique.



Figure 19. Défrichage à l'aide d'un bulldozer.

Il y a deux façons de disposer des déchets: i) soit les utiliser dans l'assiette* de la route pour hausser la plate-forme et pour remplir les dépressions; ii) soit les éliminer de l'assiette avec ou sans enfouissement. Le choix dépend des politiques de chaque entreprise, des conditions de terrain et de la classe de route construite.

i) Quand on doit utiliser les déchets, il n'y a aucune différence fondamentale dans la technique de défrichage, que l'on se serve ou non de pelles hydrauliques par la suite. Les bulldozers sont probablement plus efficaces pour couper de petites collines et, s'ils doivent être suivis par les pelles, cela devrait faire partie de l'opération de défrichage.

* assiette: surface du terrain après les travaux de défrichage sur laquelle sera effectivement construite la plate-forme de la route.

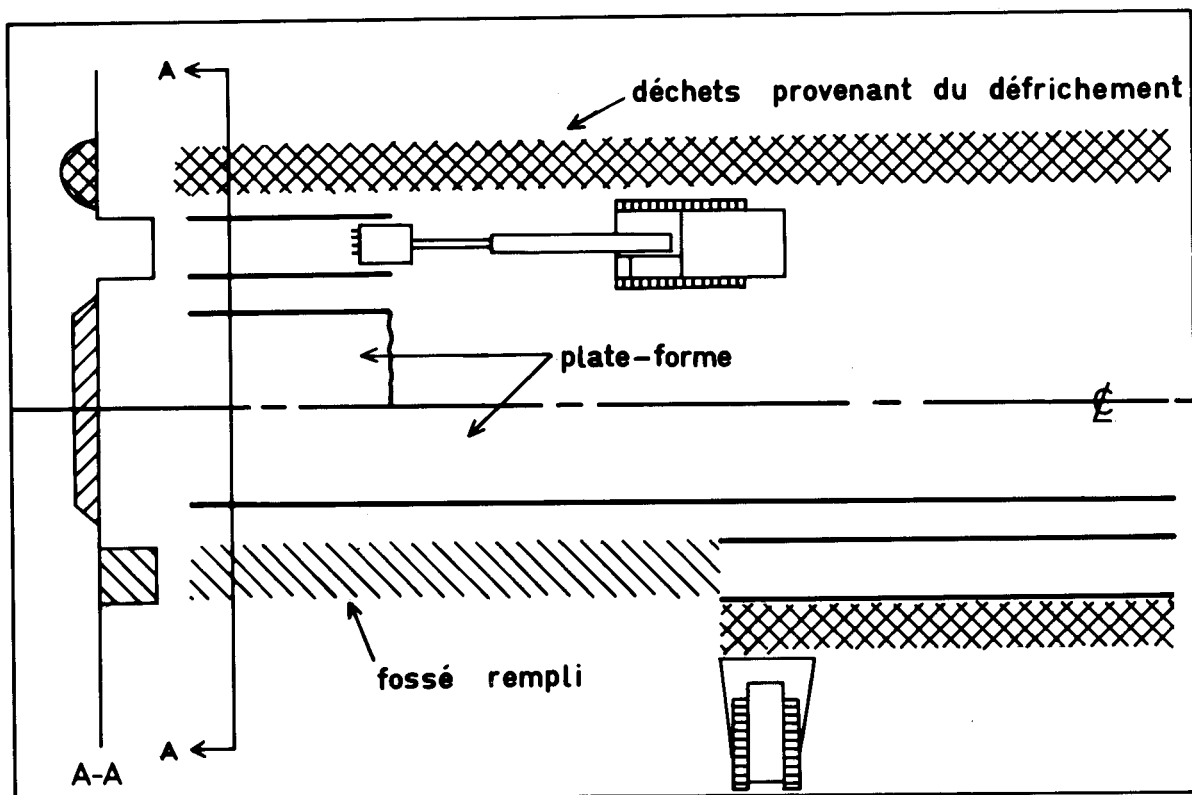


Figure 20. Méthode de construction comportant l'enfouissement des déchets dans les fossés.

ii) Lorsqu'on ne veut pas se servir des déchets dans l'assiette, on doit disposer de quelque façon. La méthode habituelle consiste à les étendre en andains le long des bords de l'emprise de route où ils offusquent la vue et peuvent entraver l'accès à la forêt. Ils sont parfois poussés plus loin, dans des tas formés à angle oblique avec la route et se trouvent ainsi cachés à la lisière de la forêt.

On peut également enfouir les déchets non utilisés dans les fossés que la pelle creuse à côté de la route en construisant la plate-forme (figure 20). Le bulldozer peut donc pousser les matériaux en andains d'un côté de la ligne centrale ou sur chacun des deux côtés.

Les andains doivent être suffisamment éloignés pour libérer un espace couvrant la largeur de la route plus un fossé. Après que la pelle a extrait le remblai, le bulldozer peut combler les fossés avec les matériaux déjà mis en andains. Les déchets ne réussiront pas nécessairement à remplir les fossés (figures 21 et 22), dépendant des conditions du terrain. Mais de toutes façons, l'accès à la forêt à partir de la route se trouvera amélioré par le comblement des fossés.



Figure 21. Fossé comblé par les déchets provenant du défrichement.



Figure 22. Fossé partiellement comblé par les déchets provenant du défrichement.

7.5 Défrichement à l'aide d'une pelle hydraulique

Il existe certaines conditions de terrain dans lesquelles l'emploi d'un bulldozer ne convient guère au défrichement, entre autres les marécages et autres terrains humides, les pentes rocheuses et abruptes et les champs de boulders. La pelle constitue alors la machine appropriée.

La possibilité de se servir d'une pelle hydraulique permettra de passer la route à travers un marécage qu'autrement il faudrait contourner ou traverser avec considérablement plus d'efforts. Grâce à sa flottaison supérieure, la machine est capable de préparer un tapis de broussailles s'il y a des arbres à sa portée. Elle peut facilement jeter les arbres à terre et les déposer de façon à former un tapis sur lequel elle s'installera pour travailler. Certaines compagnies coupent les arbres et les débardent à cette fin durant l'hiver. La pelle peut alors extraire la terre organique de chaque côté de la route et en disposer plus loin (figure 23). Pourvu qu'il y ait sous la terre organique une certaine quantité de matériaux de remblai, la machine peut habituellement les extraire même s'ils sont à 5 ou 6 mètres sous la surface.

Même s'il n'y a pas d'arbres à proximité de la machine pour former un tapis, elle peut quand même réussir à traverser un terrain marécageux qui ne pourrait l'être par un bulldozer.

On doit noter ici qu'en employant le coin du godet pour jeter à terre de gros arbres, on risque d'imprimer au bras d'excavation un couple de torsion susceptible d'en endommager l'articulation.



Figure 23. Traversée d'un terrain marécageux par une pelle hydraulique.

Dans les terrains humides présentant des conditions de sol instables, la pelle réussit mieux que les bulldozers à enlever la terre végétale humide sans la mélanger au bon remblai. Elle est également moins susceptible de déranger le tapis de racines qu'il vaut mieux laisser en place.

Dans les pentes rocheuses et abruptes (figure 24) et dans les champs de boulders, la pelle travaille plus facilement que le bulldozer. Elle peut défricher et atteindre des poches de remblai qui seraient inaccessibles à la lame du bulldozer. Il lui est aussi plus facile de couper dans le flanc escarpé d'une montagne (figure 25) pour faire appui à la route, puisqu'il lui faut déplacer moins de matériaux. Elle est également supérieure quant il s'agit de remonter un talus et de travailler autour des roches.



Figure 24. Dans les pentes rocheuses et abruptes, la pelle hydraulique peut travailler plus facilement.

Une des techniques de construction routière utilisant une seule pelle consiste à la faire déplacer dans la ligne du fossé, défrichant à partir de la ligne du centre, vers l'extérieur. Les déchets sont mis en andains entre le bord de la future route et le fossé. On répète ensuite le processus du côté opposé de la route (figure 26).



Figure 25. Flanc de montagne abrupt coupé par la pelle hydraulique.

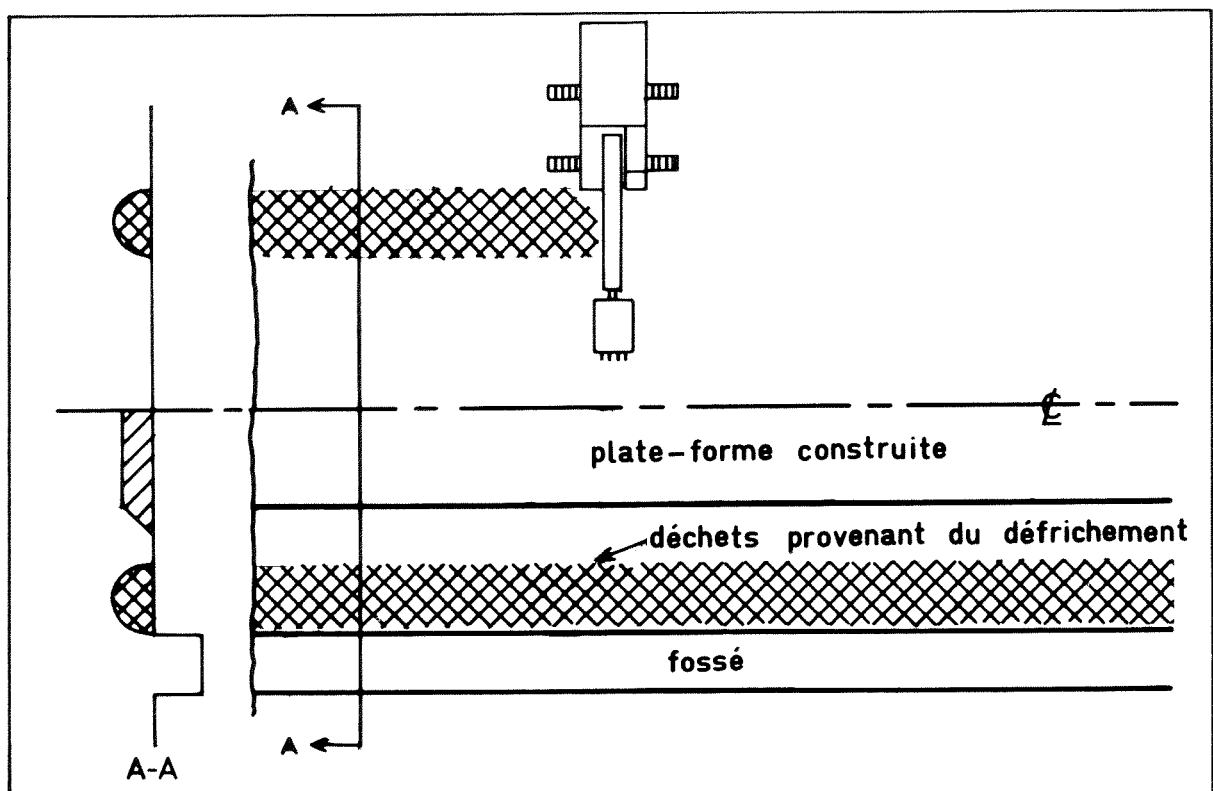


Figure 26. Défrichement à l'aide d'une pelle hydraulique.

7.6 Construction de la plate-forme

Les pelles hydrauliques qui servent à la confection de chemins forestiers sont le plus souvent employées pour construire la plate-forme, une fois le défrichement terminé. C'est là une fonction qui leur convient particulièrement bien. Dans la plupart des conditions de terrain, il y a suffisamment de remblai à la portée de la machine (8 à 12 mètres au niveau du sol) pour lui permettre de travailler, depuis la même position, sur l'assiette de route dans l'axe de la plate-forme à côté de la plate-forme, ou dans la ligne des fossées. C'est un avantage puisque les bulldozers, s'ils ont servi au défrichement, ont dû laisser une surface relativement régulière sur laquelle la pelle peut se déplacer (figure 27). Plus cette surface est régulière, moins l'engin porteur de la pelle subira d'usure et plus l'opérateur travaillera confortablement.

Il existe plusieurs méthodes différentes pour construire la plate-forme d'une route à l'aide d'une pelle hydraulique. Les différences de l'une à l'autre résident principalement dans le fait que les matériaux de remblai sont étendus ou montés en tas, dans la position à partir de laquelle la machine travaille et dans le traitement des déchets après le défrichement. Nous examinerons donc les diverses possibilités.



Figure 27. Une assiette bien nivelée sur laquelle la pelle peut se déplacer en construisant la plate-forme permet de réduire l'usure de l'engin porteur et d'augmenter le confort de l'opérateur.

Un bulldozer est incapable de travailler efficacement si les matériaux de remblai sont très humides. C'est donc une pratique habituelle de mettre le remblai en tas pour le laisser s'égoutter. Le temps nécessaire avant qu'un bulldozer puisse l'étendre varie de quelques jours à un an, selon les sols en question.

Une pelle hydraulique peut enlever les matériaux de remblai très humides dont on ne veut pas, et ensuite étendre chaque godet de matériau approprié au moment même où elle le décharge. L'avantage de l'étendre immédiatement vient de ce qu'il sèchera plus rapidement que s'il était mis en tas. De plus, l'opérateur pourra déterminer la quantité exacte de matériau requise. Un opérateur de pelle qualifié est capable de construire une plate-forme suffisamment nivelée pour ne demander par la suite que très peu ou pas de travail de la part du bulldozer (figure 28).

Il n'est pas à conseiller de se servir du côté du godet comme lame pour étendre les matériaux de remblai après qu'ils ont été déchargés. Le mouvement de balayage obtenu provoquera l'usure du godet et exercera des efforts latéraux susceptibles d'endommager la flèche et le bras d'excavation. Il est préférable de recourir plutôt au bulldozer pour obtenir une plate-forme régulière.



Figure 28. En étendant les matériaux de remblai à mesure qu'ils sont déchargés, on pourra construire une plate-forme régulière qui ne demandera par la suite qu'un minimum de travail de la part du bulldozer.

Pour extraire les matériaux de remblai, la pelle hydraulique peut se placer à plusieurs endroits différents, ainsi qu'il est illustré à la figure 29, soit:

- i) dans la ligne de fossés;
- ii) entre la ligne de fossés et la plate-forme de route;
- iii) au centre de l'assiette de la route.

Chaque emplacement comporte des avantages et des inconvénients.

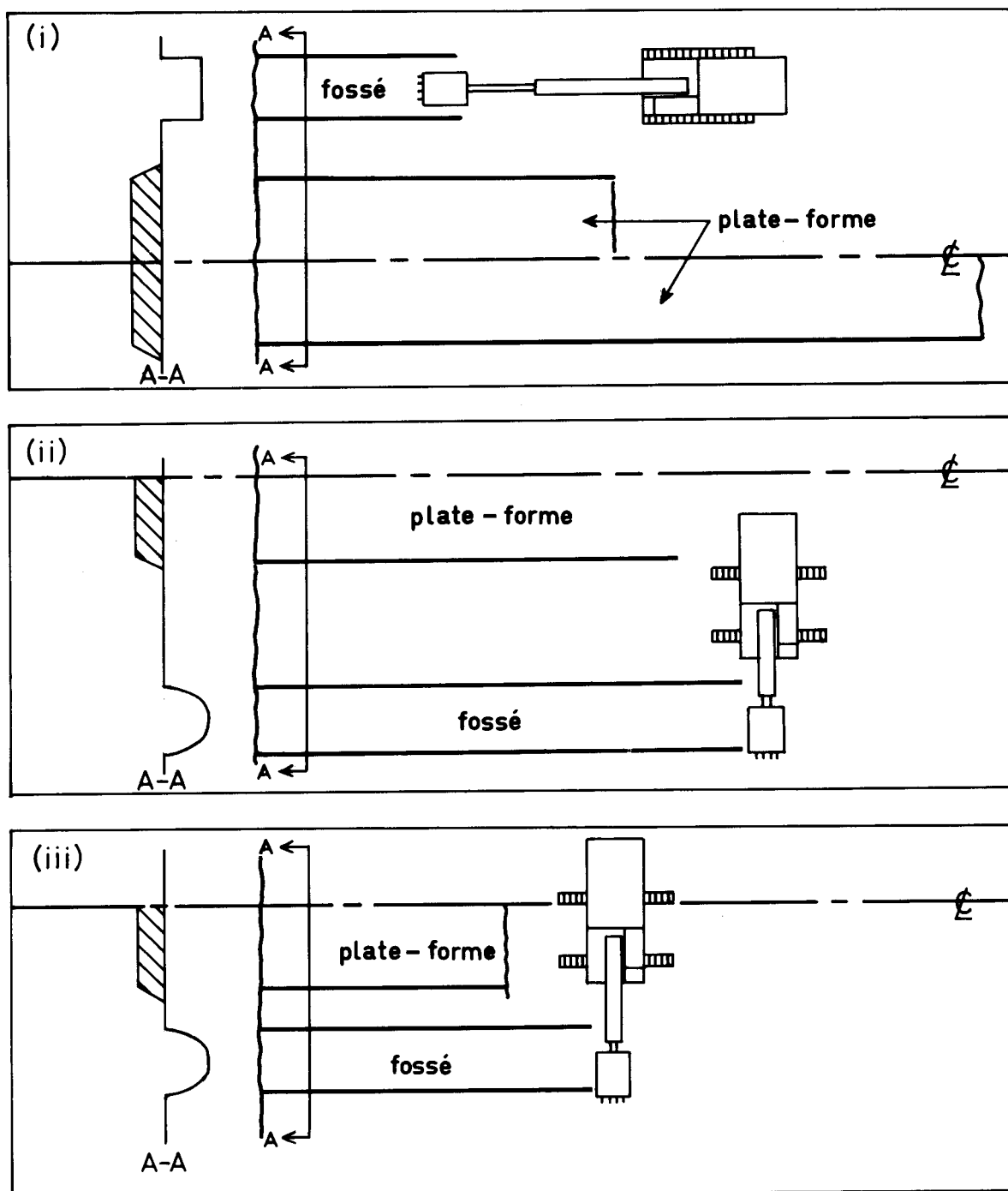


Figure 29. Diverses positions occupées par la pelle hydraulique pour extraire les matériaux de remblai.

- i) Une pelle hydraulique qui travaille à partir de la ligne des fossés peut creuser vers l'avant de l'engin porteur, entraînant ainsi moins d'usure (voir p. 17). Elle peut également aller chercher les matériaux plus loin de la route si nécessaire.
- ii) Si elle est placée entre la plate-forme de la route et le fossé qu'elle creuse, la machine laisse une bande de sol légèrement plus large que l'engin porteur, ce qui constitue un avantage au point de vue sécurité de la route. Par contre, le creusage se fait vers le côté de l'engin porteur, ce qui est un inconvénient.
- iii) Enfin, la pelle peut travailler à partir du centre de l'assiette de route. C'est là que l'opérateur jouit de la meilleure visibilité sur l'alignement de la route. Si les déchets du défrichement entrent dans la construction de l'assiette, la pelle aura alors une base relativement nivelée pour travailler. Le creusage se fait également en ce cas vers le côté de l'engin porteur.

Le fossé formé en creusant vers le côté de l'engin porteur possède une forme moins caractéristique que la tranchée creusée par la pelle à partir de la ligne de fossés. Toutefois, il peut encore servir à enfouir les déchets indésirables ou à assurer le drainage.

Sur une route principale, deux pelles hydrauliques travaillant ensemble peuvent, quelle que soit leur position, construire chacune leur moitié de la plate-forme. Dans le cas d'une route étroite, il faut une moins grande quantité de remblai et il peut s'en trouver suffisamment d'un seul côté de la route. N'importe quelle position de travail peut alors convenir à la pelle. Il est avantageux de travailler à partir du centre de l'assiette si le remblai doit provenir des deux côtés de la route. Cette position permet aussi à la pelle d'alterner d'un côté à l'autre en creusant. On peut ainsi tenir compte du réseau de drainage et des exigences de l'accès à la forêt.

Il arrive parfois que la quantité de sol que la pelle est à même d'obtenir à partir de l'assiette ou du fossé soit insuffisante pour la plate-forme. En ce cas, il peut être efficace de faire travailler ensemble un bulldozer et une pelle. Deux cas sont alors possibles. Ou bien le bulldozer sert à pousser les matériaux à portée de la pelle (figure 30), ce qui se produira particulièrement si la route est surélevée et que les matériaux sont par conséquent hors de portée. Ou bien la pelle travaille hors de la route, là où les matériaux de remblai sont disponibles, mais la distance est trop grande pour lui permettre de les déposer sur la route à l'endroit où on en a besoin. La machine peut alors servir à alimenter le bulldozer qui à son tour poussera les matériaux sur la route ou le long de la route (figure 31). Dans ces deux cas, la combinaison des deux machines peut permettre de travailler plus vite et plus efficacement qu'avec l'une ou l'autre employée séparément.



Figure 30. Le bulldozer pousse les matériaux de remblai à portée de la pelle hydraulique.



Figure 31. La pelle alimente le bulldozer qui pousse ensuite les matériaux de remblai à l'endroit voulu sur la route.

7.7 Nivellement et compactage de la plate-forme

Le nivellement et le compactage de la plate-forme se font généralement à l'aide d'un bulldozer. Si les matériaux ont été étendus par la pelle au moment où ils sont déchargés et que l'opérateur a fait attention à la pente, le bulldozer n'a alors que peu de travail de nivellement à effectuer. Si au contraire les matériaux sont disposés en tas, il faut absolument niveler à l'aide du bulldozer, à moins d'avoir à sa disposition un compacteur automoteur capable d'effectuer en même temps le nivellement et le compactage.

Peu d'entreprises comptent des compacteurs à même leur équipement de construction - que ce soit du type automoteur ou remorqué. On se sert plutôt des engins de construction ordinaires jusqu'à ce qu'on ait obtenu un compactage satisfaisant. Le degré de compactage dépend principalement de trois facteurs interreliés: i) la teneur en humidité du sol au moment du compactage; ii) le type de sol; iii) la nature de l'effort de compactage et son intensité. On ne sait pas très bien à quel point l'équipement de terrassement est efficace pour le compactage.

La pelle hydraulique a parfois été employée au compactage de la plate-forme. Étant donné sa faible vitesse de déplacement (environ 4 km/h, max.), elle n'est pas aussi productive que le bulldozer qui peut se déplacer beaucoup plus vite (environ 10 km/h, max.). On ne rapporte encore dans la documentation aucun effet de dégradation du sol, dû à une vitesse de compactage plus élevée (à l'intérieur de cette gamme de vitesses). Une pelle plus lourde qu'un bulldozer nécessiterait moins de passages pour atteindre le même degré de compactage, diminuant par le fait même la différence de productivité entre les deux machines.

7.8 Installation des ponceaux

Que ce soit avant ou après la construction de la plate-forme, l'installation des ponceaux se fait facilement à l'aide d'une pelle hydraulique (figure 32). L'expérience a montré que le temps d'installation peut ne représenter que le tiers du temps nécessaire au bulldozer. On a en effet moins de matériaux à déplacer et la pelle peut soulever le ponceau à sa place et le solidifier en l'entourant soigneusement de matériaux choisis. Il est aussi moins dangereux d'endommager le ponceau. Comme le travail entraîne moins de perturbation du sol et de l'eau, il y a également réduction de l'impact sur l'environnement. Le résultat est une installation de meilleure qualité à moindre coût et avec une moindre dépense de temps et d'effort.

7.9 Gravelage

Lorsque la plate-forme est bien construite et compactée avec soin, on a besoin de moins de gravier et de moins de temps de niveleuse pour obtenir une route nivelée. Ceci est particulièrement important

lorsque les dépôts de gravier sont rares. À cause d'ententes sur l'aménagement forestier entre le gouvernement et l'entreprise privée, on construit maintenant un plus grand nombre de routes quatre-saisons. Il y aura ainsi augmentation de la demande en gravier; on devra donc utiliser la quantité minimale compatible avec une qualité de route acceptable. Il est donc de plus en plus important de posséder l'art de construire une bonne route.

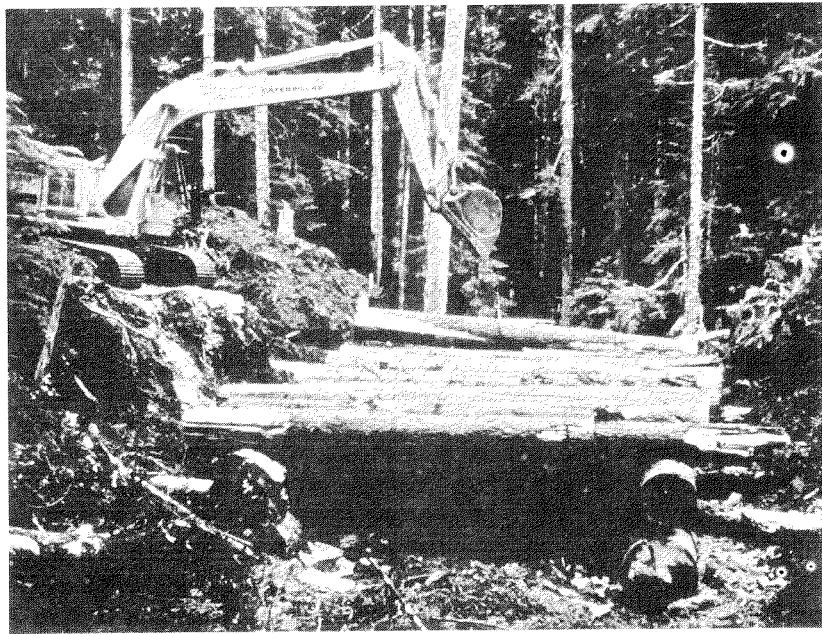


Figure 32. Installation de ponceaux à l'aide d'une pelle hydraulique.

8. COÛT ET PRODUCTIVITÉ DE LA CONSTRUCTION ROUTIÈRE À L'AIDE DE PELLES HYDRAULIQUES

Dans le Centre et l'Est du Canada, peu d'entreprises forestières ont utilisé les pelles hydrauliques dans leur programme de voirie forestière suffisamment longtemps pour obtenir des données sur les coûts et la productivité. Même lorsque ces données existent, elles sont surtout utiles aux comparaisons internes au sein d'une même compagnie. Compte tenu du grand nombre de variables qui entrent en jeu, on devrait éviter les comparaisons d'une compagnie à l'autre.

Les études de cas suivantes, effectuées dans le Centre et l'Est du Canada, nous donnent quelques renseignements relatifs au coût et à la production. On trouvera au no 39 de notre bibliographie l'information pertinente à la construction de la plate-forme de route en Colombie-Britannique, à l'aide d'une pelle hydraulique (à godet), d'un bulldozer, d'une pelle mécanique et d'une pelle hydraulique à benne.

8.1 Étude de cas 1

La compagnie loue plusieurs pelles hydrauliques chaque année. Elles sont utilisées sur toutes les catégories de route. Sur les chemins primaires, deux pelles travaillent de concert avec trois bulldozers. Sur les autres chemins, on utilise généralement une pelle et deux bulldozers. Le tableau 1 donne la classification des routes ainsi que les normes de construction.

Tableau 1. Classification des routes et normes de construction.

	primaire	secondaire		tertiaire	
		A	B	été	hiver
largeur de chemin (min.)	9.8 m	7.9 m	4.6 m	4.6 m	4.6 m
profondeur du remblai au-dessus de l'assiette (min.)	0.9 m	0.6 m	0.3-0.5 m	0.3-0.5 m	minimum
gravier (min.)	0.15-0.20m tout-venant	0.15-0.20m tout-venant	0.15 tout-venant	aucun	aucun
type de sol naturel	matière végétale	matière végétale	matière végétale	matière végétale	neige et glace
degré de courbure (max.)	6-8 deg.	6-8 deg.	10-12 deg.	12-14 deg.	12-14 deg.
pourcentage de pente (max.)	6-8%	6-8%	10-12%	10-12%	10%
durée de vie (années)	10+	10+	7-9	1-2	1 saison
m ³ de remblai/km	10 000	5 200	2 400	2 400	minimum

Description du terrain

Le terrain est classifié selon trois catégories: bon, moyen et dur. On peut les décrire comme suit:

- bon: - terrain plat légèrement ondulé;
- matériaux de remblai disponibles en abondances, généralement exempts de boulders, c'est-à-dire eskers, basfond sableux.
- moyen: - terrain ondulé avec collines peu importantes;
- quantité moyenne de remblai disponible avec présence de boulders;
- roche-mère parfois présente;
- pelle hydraulique parfois obligée d'aller en-dehors de la route chercher le remblai.
- dur: - sol très mince;
- présence de roche-mère sur une grande étendue;
- présence d'une quantité importante de boulders;
- plusieurs endroits demandant la création de délaïs et de remblais;
- marécages;
- pelle hydraulique doit aller en-dehors de la route chercher le remblai.

Équipement employé

En 1980 on utilisa, pour la construction de chemins primaires seulement, des pelles hydraulique Link-Belt LC5800 (194 kW) et John Deere 890 (186 kW) combinées à des bulldozers International TD20E (157 kW) et Caterpillar D7 (149 kW). En 1981, on associa des pelles Caterpillar 234 (145 kW) et des bulldozers D7G pour la construction de chemins primaires, secondaires et tertiaires.

Les pelles Caterpillar 235 étaient munies de plaques de protection en acier sous la structure supérieure (voir figure 15, p. 17). On se servit de godets de deux dimensions différentes, soit avec une contenance de 1.1 m³ (1.07 m de largeur) et de 1.4 m³ (1.22 m de largeur). Ils avaient été renforcés par l'ajout de plaques de friction de chaque côté (voir figure 16, p. 18). La flèche et le bras d'excavation portaient également des plaques de friction supplémentaires.

La compagnie trouva que, pour une pelle hydraulique, la combinaison d'un godet ayant une contenance de 1.4 m³ et de chenilles de 0.92 m de largeur était celle qui convenait le mieux aux diverses conditions de terrain rencontrées. Les bulldozers, qui étaient standard, étaient équipés soit d'une lame droite, soit d'une lame universelle (lame en U).

Méthode de construction

Le déboisement de l'emprise de route se faisait soit manuellement par des équipes d'abattage et de débusquage, soit à l'aide d'une abatteuse-groupeuse et d'un débusqueur. Les arbres étaient apportés aux jetées situées le long de la ligne centrale projetée. On introduisit en 1982 une nouvelle méthode d'empiler le bois (voir figure 18, p. 21).

Selon la configuration du terrain, les bulldozers nettoyaient la couverture vivante et mettaient les matériaux dans l'assiette ou bien les poussaient sur les côtés de l'emprise.

Dans les bas-fonds sableux, la matière végétale était poussée aux côtés ou utilisée pour combler les dépressions et obtenir ainsi une pente régulière. Lorsqu'on avait une pénurie de remblai, toutes les souches et autres matériaux organiques étaient incorporés à l'assiette. Les bulldozers roulaient les souches des côtés et les écrasaient pour obtenir un fond végétal surélevé (voir figure 27, p. 28).

En traversant des marécages et d'autres terrains humides, toute la couverture vivante était utilisée pour former un tapis surélevé de broussailles.

Les pelles servaient à construire la plate-forme avec le remblai propre. Au cours de cette opération, il arrivait parfois que les bulldozers poussent du remblai additionnel à portée des pelles. Ils servaient également à pousser du remblai le long de la route aux points où on en avait besoin sans qu'il s'en trouve à proximité (voir figures 30 et 31, p. 32).

Au cours de la construction de la plate-forme de chemins primaires, les pelles travaillaient à partir de l'assiette de route et se déplaçaient sur cette assiette autant qu'il était possible. Elles n'en sortaient que pour aller chercher du remblai additionnel en-dehors de leur aire d'action. Les deux pelles utilisées sur ces routes travaillaient à environ 60 mètres l'une de l'autre et chacune d'elles était responsable de la moitié de la largeur du chemin. En déposant le remblai, l'opérateur faisait donc face à la partie déjà terminée de la plate-forme, ce qui lui permettait de maintenir un niveau constant et de n'étendre que la quantité de matériaux nécessaire.

Quand il n'y avait pas de remblai disponible, par exemple en traversant certains terrains marécageux, les pelles quittaient l'assiette et alimentaient les bulldozers, les laissant pousser le remblai directement aux endroits où on en avait besoin.

On laissait reposer et sécher pendant une courte période de temps les plates-formes terminées et destinées à être gravelées, avant qu'une niveleuse vienne leur donner la forme finale et les bomber.

Les chemins secondaires étaient construits de façon analogue, mais en n'utilisant qu'une pelle hydraulique et deux bulldozers. Le remblai était pris d'un côté de la route ou de l'autre, compte tenu du besoin de jetées et d'endroits prévus pour tourner.

Coûts et production

L'effet de l'introduction du système combinant pelle hydraulique et bulldozer est décrit au tableau 2 pour les chemins primaires et au tableau 3 pour les chemins secondaires (les tableaux 1-3 sont adaptés du no 36 de notre bibliographie). Le coût et la production du système pelle-bulldozer sont comparés à ceux du système bulldozer seulement.

Les tableaux montrent une augmentation substantielle de la production pour les deux types de chemins, primaires et secondaires; 43% et 50% respectivement. Les économies en coût sont de 30% pour les chemins primaires et de 26% pour les chemins secondaires. Les coûts sur lesquels ces pourcentages sont basés comprennent: l'équipement, les salaires, les bénéfices marginaux, les ponceaux et les frais généraux. Les coûts du gravelage ne sont pas inclus. On a tenu compte dans les calculs de l'effet de l'inflation sur les coûts, soit 10% en 1980 et 12% en 1981.

Tableau 2. Comparaison du coût et de la production:
chemins primaires, 1979-1981.

	1979	1980	1981
combinaison d'équipement utilisée	3 bulldozers	1 pelle hydr. 2 bulldozers	2 pelles hydr. 3 bulldozers
distance/poste (moyenne)	103.3 m	137.5 m	246.7 m
distance/machine/poste (moy.)	34.4 m	45.7 m	49.4 m
conditions de terrain	bon	moyen	moyen-dur
augmentation de production par rapport à la construction au bulldozer en 79 (% moyen)	base des calculs	33%	43%
économie de coût (% moyen)	base des calculs	22%	30%

Tableau 3. Comparaison du coût et de la production:
chemins secondaires, 1980-1981.

	1980	1981
combinaison d'équipement utilisée	3 bulldozers	1 pelle hydr. 2 bulldozers
distance/poste (moyenne)	310.9 m	466.3 m
distance/machine/poste (moy.)	103.6 m	155.4 m
conditions de terrain	bon-moyen	moyen
augmentation de production (% moyen)	base des calculs	50%
économie de coût (% moyen)	base des calculs	26%

Même en tenant compte de variables telles que différentes machines, différents terrains, habileté de l'opérateur, on dénote une nette amélioration avec la combinaison pelle hydraulique-bulldozer à la fois dans le taux de production et dans le coût de construction.

8.2 Étude de cas 2

La compagnie possède trois pelles hydrauliques. Chacune travaille avec un bulldozer à la construction de chemins de classe 3 et 4. Les pelles sont aussi utilisées par les entrepreneurs sur les chemins de classe 1 et 2, mais de concert avec plusieurs autres types d'équipement, c'est-à-dire décapeuses, bulldozers et camions à bascule. La compagnie a acheté sa première pelle en 1981 et en a ajouté deux autres en 1982. L'information sur le coût montrée à la figure 4 se rapporte à trois tronçons de chemin de classe 3 construits en 1982 avec une combinaison pelle hydraulique-bulldozer.

Description du terrain

Chemins no 3 et no 7

Ces deux tronçons traversent des terrains semblables. Les chemins sont localisés de façon à ce que leur pente, bien que se situant parfois entre 10% et 20%, se tiennent généralement en bas de 10%. Des pentes supérieures à 20% ne sont pas rares dans les terrains boisés avoisinants.

Les sols organiques présentent généralement moins de 0.6 m d'épaisseur sur un till glaciaire d'épaisseur variable. La roche-mère est souvent près de la surface. L'excavation pourrait être considérée comme travail moyen à dur, c'est-à-dire dans un sol bien tassé avec contenu en pierre atteignant jusqu'à 50%. Les boulders dont le diamètre allait jusqu'à 1 m n'étaient pas rares (figure 33) mais ils mesuraient généralement moins de 0.5 m. Dans l'ensemble la surface de cette région peut être classée comme légèrement accidentée.

Le drainage du sol varie de drainage médiocre dans certaines terres basse relativement plates à drainage modéré ou bon en général. Aux endroits où la roche-mère vient près de la surface, le drainage est médiocre (figure 34).

Les peuplements forestiers sont pour la plupart des peuplements purs d'épinette noire. On rencontre en petites quantités du bouleau à papier et du peuplier. Les mousses hypnacées et le thé du Labrador forment la couverture vivante courante. L'aulne pousse aux endroits les plus humides.



Figure 33. Il n'était pas rare de rencontrer de gros boulders. Remarquer également l'emprise de route étroite.



Figure 34. Roche-mère affleurant à la surface.

Chemin no 4

Dans l'ensemble le terrain est semblable à celui qui a été décrit ci-dessus. Cependant, le chemin passe sur la moitié de sa longueur dans un col étroit entre deux montagnes (figure 35). Il tourne ensuite et suit à peu près le contour de l'une des deux (figure 36). La roche-mère se trouve près de la surface sinon à la surface même des pentes. Presque tout le remblai utilisé provenait de poches pour la plupart inaccessibles au bulldozer.

Équipement utilisé

Chaque pelle hydraulique Caterpillar 225 (101 kW) était équipée de protecteurs de chenilles pleine longueur ainsi que d'une plaque de protection sous la structure supérieure. Les chenilles avaient 0.60 m de largeur. Sur le toit de la cabine se trouvait un ventilateur qui pressurisait la cabine de façon à empêcher les poussières d'entrer.

Le godet, renforcé par une plaque de friction supplémentaire pour en empêcher la déformation, avait une contenance de 1.0 m³. Le bras d'excavation de 3.05 m de longueur et la flèche monobloc donnaient à la pelle une portée maximale d'environ 10 m au niveau du sol. La profondeur maximale de creusage atteignait 7 m.

Chaque bulldozer Komatsu D85E (164 kW) était équipé d'une cabine ROPS entièrement fermée, et d'une lame droite orientable. Un bulldozer plus petit, de marque Fiat-Allis 14C (112 kW) servait à étendre le gravier.



Figure 35. Une partie du chemin no 4 passait entre deux montagnes.



Figure 36. Une partie du chemin no 4 suivait le contour d'une montagne.

Méthode de construction

Les chemins de classe 3 et 4, construits par la compagnie en combinant la pelle et le bulldozer, ne sont utilisés que durant une période de temps relativement courte. Les déchets provenant du défrichage étaient donc inclus dans l'assiette si nécessaire. Le bulldozer effectuait généralement le défrichage, coupait aussi certains côteaux et apportait à l'occasion le remblai provenant des bancs d'emprunt.

La tâche principale de la pelle hydraulique consistait à extraire les matériaux de remblai nécessaires à la plate-forme et à les y déposer. Avec la roche-mère souvent à proximité de la surface, l'aptitude de la pelle à bien nettoyer les poches de remblai était pleinement utilisée. La distribution inégale des matériaux de remblai amenait aussi les deux machines à collaborer, c'est-à-dire que la pelle mettait le remblai sur la route et que le bulldozer le poussait là où on en avait besoin (figure 37).



Figure 37. La pelle hydraulique fournit le remblai au bulldozer qui le pousse le long de la route jusqu'à une dépression.

La pelle hydraulique étendait les matériaux de remblai tout en les déchargeant. Le bulldozer servait ensuite à les niveler et à les compacter.

Les entrepreneurs transportaient le gravier, abondant dans la région, depuis des dépôts de gravier avoisinants.

Discussion

Les coûts par kilomètre sont à peu près semblables pour ces trois tronçons de route, bien que l'on note certaines différences dans la répartition des coûts. Ainsi le coût de gravelage du chemin no 4 était beaucoup plus élevé que celui des deux autres tronçons; par contre moins de temps y avait été passé à la construction de la plate-forme par l'ensemble pelle-bulldozer. Le coût de la main-d'oeuvre pour chaque tronçon de route était relativement constant à environ 21% du coût total.

Tableau 4. Coûts de construction de trois tronçons de chemin de classe 3.

poste de dépenses	chemin no 3 (1.8 km)			chemin no 4 (1.8 km)			chemin no 7 (5.0 km)		
	heures (h)	coût (\$)	pourc. du coût total (%)	heures (h)	coût (\$)	pourc. du coût total (%)	heures (h)	coût (\$)	pourc. du coût total (%)
A. <u>Salaires</u> (salaire régulier et heures supplémentaires pour opérateurs, conducteurs de camion et aides-excluant bénéfices marginaux)	-	5 410	21.0	-	5 260	20.8	-	15 250	21.2
total partiel (A)	-	5 410	21.0	-	5 260	20.8	-	15 250	21.2
B. <u>Équipement</u>									
i) construction de la plate-forme									
- bulldozer	66	4 320	16.8	40	2 130	8.4	180	10 420	14.5
- pelle hydraulique	94	4 590	17.8	51	2 500	9.9	160	7 840	10.9
ii) gravelage									
- chargeuse(s)	36	2 540	9.9	46	3 200	12.7	108	7 530	10.4
- camions	169	5 840	22.7	262	9 040	35.7	540	18 870	26.2
- bulldozer	34	1 380	5.4	42	1 800	7.1	136	5 800	8.1
iii) divers	-	1 050	4.0	-	420	1.7	-	3 700	5.1
total partiel (B)	-	19 720	76.6	-	19 090	75.5	-	54 160	75.2
C. <u>Matériaux</u>	-	620	2.4	-	950	3.7	-	2 590	3.6
coût total	-	25 750	100	-	25 300	100	-	72 000	100
coût par km	-	14 300	-	-	14 050	-	-	14 400	-

8.3 Étude de cas 3

Sa méthode traditionnelle de construction de chemins forestiers à l'aide de deux décapeuses et d'un bulldozer devenant trop coûteuse, la compagnie décida de mettre à l'essai une pelle hydraulique. Après avoir essayé pendant trois mois une machine louée, elle en acheta une.

Les chemins forestiers (de classe 4) ont environ 5.5 m de largeur, mais à plusieurs endroits ils sont suffisamment larges pour que deux camions de débardage puissent se rencontrer. Ils sont construits avec des matériaux disponibles localement et ont une espérance de vie de un à deux ans. Ils ont pour la plupart moins de 4 km de largeur.

Les chemins forestiers améliorés (de classe 3) sont des routes toutes-saisons. Ils ont environ 7.0 m de largeur, ils sont faits de matériaux disponibles localement et gravelés si nécessaire. Leur espérance de vie est de trois à cinq ans, ce qui correspond à un camionnage de 2-500 000 m³ de bois. Leur longueur varie entre 4 et 12 km.

Description du terrain

Dans le parterre de coupe où se trouvaient ces chemins, le terrain a été classifié selon la "Terrain Classification for Canadian Forestry" (no 37 de notre bibliographie et annexe II). Les diverses classes (moyennes pour la route entière) sont données au tableau 5. La figure 38 illustre les conditions de terrain typiques dans lesquelles la pelle devait travailler (voir aussi les figures 4, 21, 22 et 23).

Figure 38. Conditions de terrain typiques où travaillait la pelle hydraulique.



Équipement utilisé

On se servit d'abord d'une pelle hydraulique louée de marque Caterpillar 235 (145 kW). Elle fut plus tard remplacée par une Hitachi UH172 (162 kW) achetée par la compagnie. Chaque pelle fonctionnait de concert avec l'un des bulldozers suivants: un Caterpillar D7 (149 kW), un Komatsu 155A (239 kW) ou un Komatsu D85E (164 kW). On verra au tableau 5 les diverses combinaisons de pelles hydrauliques et de bulldozers.

La méthode traditionnelle de construction impliquait l'emploi de deux décapeuses (Terex TS-14, 214 kW) et d'un bulldozer (Caterpillar D8, 224 kW).

Méthode de construction

a) Tracé du chemin - Les chemins étaient localisés de façon à tirer profit des sources disponibles de remblai. On évitait les superficies comportant de grands affleurements de la roche-mère puisque la construction de la plate-forme aurait alors exigé l'apport de quantités importantes de remblai. La traversée de terrains marécageux, même au-delà de 30 m, ne causait aucune difficulté à la pelle, étant donné sa capacité élevée de flottaison.

b) Déboisement de l'emprise de route - L'emprise de route était déboisée sur une largeur normale de 60 m. Pour les chemins forestiers améliorés (classe 3), le bois de l'emprise était habituellement débordé en hiver avant la construction du chemin, ce qui permettait de placer les piles de bois adjacentes à la route d'hiver. S'il n'avait pas été débordé avant la construction, le bois était empilé perpendiculairement à la ligne centrale, près des arbres debout. Pour l'emprise de route des chemins de classe 4, les piles étaient situées à environ 5 à 6 m de la ligne centrale.

c) Nettoyage de l'emprise de route - S'il existait déjà une route d'hiver, on l'élargissait à l'aide du bulldozer jusqu'à environ 10 m. La pelle suivait derrière et enlevait toute roche ou boulder qui ressortait au-dessus du niveau désiré. Les bulldozers enlevaient les arbres debout qui restaient.

d) Jalonnement - La ligne centrale était jalonnée avant et après le nettoyage de l'emprise de route. Les opérateurs pouvaient ainsi conserver à la plate-forme l'alignement et la largeur appropriés.

e) Construction de la plate-forme - Pour construire la plate-forme, la pelle hydraulique travaillait en se plaçant dans la ligne des fossés (voir figure 29, i). Elle creusait par-dessus ses roues de tension et déchargeait les matériaux directement par-dessus la ligne centrale de la route. Les déchets étaient déposés dans la partie non encore nettoyée de l'emprise.

Étant donné la présence de roche-mère dans les fossés, il fallait creuser des bancs d'emprunt si les quantités de remblai disponibles s'avéraient insuffisantes. Si un grand nombre de roches de surface recouvraient un remblai approprié, on déplaçait ces roches le long du côté du fossé.

Quand le remblai devait provenir d'un côté seulement des chemins de classe 4, on le prenait du côté le plus élevé, afin d'assurer un drainage adéquat.

f) Forme de la route - Outre le nivellement du remblai, la préparation de la forme comportait l'enlèvement des roches laissées dans le remblai par la pelle ainsi que le talutage, le nettoyage et le comblement des fossés. Lorsque disponible, le Komatsu D85E était utilisé pour donner la forme, car sa lame pouvait être inclinée, contrairement au Komatsu 155A qui était équipé d'une lame en U.

On préparait la forme des routes peu de temps après avoir étendu le remblai, de façon à déterminer si la pelle avait extrait suffisamment de matériaux. Retourner plus tard pour corriger un problème aurait coûté beaucoup de temps et d'argent.

g) Construction du tapis de broussailles - Au cours de l'abat-tage en hiver, on prenait les arbres non marchands pour construire des tapis de broussailles de plus de 30 m. Quand la largeur de la traversée n'atteignait pas 30 m, le bulldozer poussait tous les débris et toutes les broussailles disponibles de façon à former une couche sur laquelle la pelle placerait le remblai. Cette dernière, travaillant comme déjà mentionné dans la ligne des fossés, enlevait la couche organique, la basculant à l'extérieur du fossé avant d'extraire le remblai sous-jacent. On prenait bien garde de ne mêler aucun matériau organique au remblai.

Là où les terrains marécageux étaient trop mous pour la pelle, on laissait de gros tas de remblai à l'extrémité du tapis de broussailles pour que le bulldozer les pousse d'un côté à l'autre.

Disponibilité de la machine

La disponibilité de la machine, mesurée durant 812 heures-machine prévues, atteignait 90%. L'utilisation au cours de la même période, était de 76%.

On constata que, comparativement à la méthode traditionnelle, la disponibilité des bulldozers travaillant avec une pelle hydraulique était augmentée et leurs coûts d'entretien considérablement réduits. Ces résultats furent attribués à de meilleures conditions de travail pour les bulldozers après que la pelle eût enlevé du remblai les grosses roches et les boulders.

Analyse des coûts de construction

Au tableau 5, le coût-machine n'inclut que le coût des machines indiquées. Le taux horaire utilisé pour chaque type de machine correspond à la moyenne du parc entier.

Les coûts de main-d'oeuvre comprennent le temps de déplacement des opérateurs aussi bien que le temps passé à faire fonctionner les machines.

Les coûts suivants ne sont pas inclus: les ponceaux et leur installation, le gravelage, la location de transporteurs pour le personnel, le déplacement aller-retour de l'équipement jusqu'au site de travail, les salaires des contremaîtres et les bénéfices marginaux.

Pour les chemins forestiers améliorés (classe 3), le bois de l'emprise était abattu et débardé en hiver avant la construction de la route. Ces chemins d'hiver permettaient d'économiser beaucoup de temps et d'argent au moment de la construction des routes toutes-saisons puisqu'une bonne partie du nettoyage était déjà fait. Le coût des chemins d'hiver s'élevait à environ \$2,000.00/km.

Le coût moyen de construction de quatre chemins forestiers améliorés (classe 3) était de \$9100.00/km. Avec la méthode traditionnelle, un chemin de cette qualité construit dans les mêmes conditions aurait coûté \$12,800.00/km. Ainsi, en combinant pelle hydraulique et bulldozer, on a obtenu une économie de 29%. De plus la disponibilité des bulldozers a été augmentée et leurs coûts d'entretien considérablement réduits.

À titre comparatif, le coût de construction d'un chemin forestier (classe 4) dans le même type de terrain, à l'aide de la combinaison pelle-bulldozer, était de \$4,600.00/km.

Tableau 5. Coût de construction routière.

chemin	classe de chemin	machine utilisée	coût total de la main-d'oeuvre (\$)	coût machine total (\$)	distance totale (km)	classification du terrain			coût par km (\$)
						pouvoir porteur	sol accidenté	pente	
1	2	pelle hydr. Caterpillar 235 bulldozer Caterpillar D7 niveleuse Champion 740	1 710	8 590	0.9	1	4	2	11 440
2	3	pelle hydr. Hitachi UH172 bulldozer Caterpillar D7 bulldozer Champion 740	4 820	21 600	3.1	1	4	3	8 520
3	3	pelle hydr. Caterpillar 235 bulldozer Komatsu 155A niveleuse Champion 740	1 530	7 280	1.2	2	3	1	7 340
4	3	pelle hydr. Hitachi UH172 bulldozer Komatsu 155A bulldozer Komatsu D85E niveleuse Champion 740	1 720	7 370	1.0	2	3	2	9 090
5	3	bulldozer Caterpillar D8 2 décapeuses Terex TS-14 niveleuse Champion 740	11 680	31 840	3.4	1	4	2	12 800
6	4	pelle hydr. Hitachi UH172 bulldozer Komatsu 155A bulldozer Komatsu D85E niveleuse Champion 740	2 410	10 390	2.8	2	4	2	4 570

Note: Le chemin no 1 a été construit comme chemin de deuxième classe, ce qui est un cran au-dessus du chemin forestier amélioré. Son coût a donc été passablement plus élevé que celui des chemins 2, 3 et 4.

9. AUTRES UTILISATIONS DE LA PELLE HYDRAULIQUE

9.1 Autres utilisations se rapportant aux routes

Outre les emplois des pelles hydrauliques dont il a été question dans les sections précédentes, il en existe plusieurs autres qui ont rapport aux routes. En voici quelques-uns.

Lors de la réfection des vieux chemins, une pelle hydraulique peut travailler à partir de la surface déjà existante. On minimisera ainsi l'importance de la perturbation qui sera limitée à la superficie se trouvant à portée de la machine.

Comme chargeuse de gravier, la pelle peut extraire le gravier d'endroits inaccessibles aux chargeuses frontales. Elle peut aussi extraire des matériaux de remblai bien tassés qui autrement devraient être soulevés par un bulldozer préalablement au travail de chargement.

Une pelle hydraulique convient très bien à la construction des ponts (figure 39). Son aptitude à contrôler les matériaux qu'elle déplace constitue ici un avantage important. Elle peut, par exemple, ériger des murs de pierre qui retiennent le sol de chaque côté d'un pont avec un minimum de détérioration à l'environnement. Elle est également capable de soulever les matériaux utilisés dans la structure du pont et de les mettre en place (dans les limites de sa force de levage).

La pelle est aussi utile à l'entretien des routes en relocalisant les ponceaux, en nettoyant les fossés, etc.

9.2 Utilisations possibles à l'aide d'autres accessoires

Il est possible de remplacer le godet de la pelle hydraulique par d'autres accessoires qui en augmenteront les possibilités.

L'installation d'un grappin permettra de l'utiliser comme chargeuse forestière. On en augmentera ainsi le taux d'utilisation et on obtiendra une capacité supplémentaire de chargement et de déchargement au cours de l'hiver. La chargeuse ainsi constituée sera particulièrement efficace aux endroits présentant une forte concentration en bois, étant donné sa faible vitesse de déplacement.

Équipée de marteaux à percussion, la pelle servira au concassage des pierres. Cet emploi est bien reconnu dans les industries des mines et de la construction. Un puissant marteau à percussion pourrait remplacer les méthodes traditionnelles de forage et de dynamitage utilisées pour enlever les roches. Cependant les coûts encourus peuvent ne justifier l'emploi d'un tel accessoire que lorsque les quantités de roches à enlever sont importantes. Des marteaux plus au moins puissants sont toutefois disponibles pour différents usages, et chaque cas doit être examiné séparément.

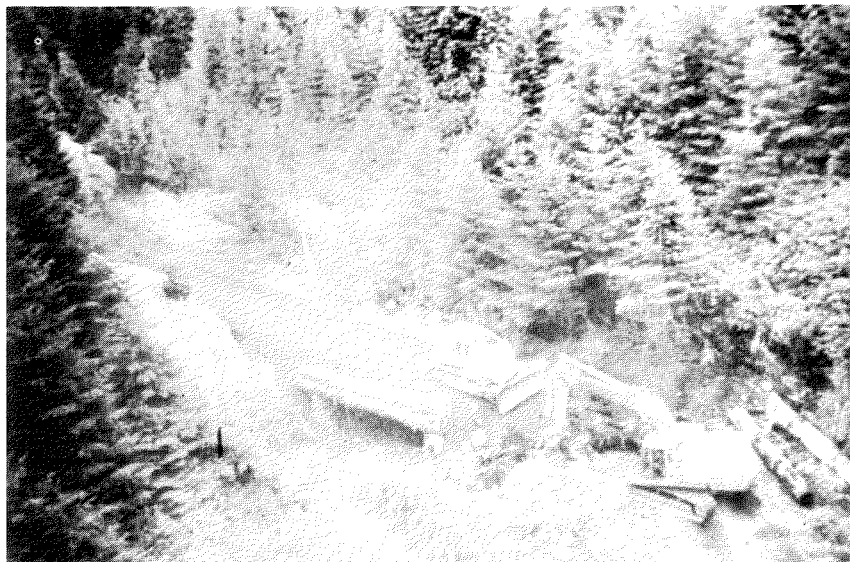


Figure 39. Les pelles hydrauliques conviennent particulièrement bien à la construction des ponts ou aux travaux effectués dans des milieux très sensibles.

10. PELLE HYDRAULIQUE MONTÉE SUR UN ENGIN PORTEUR A ROUES TOUT-TERRAIN

Toutes les pelles se situant dans la gamme de dimensions utilisées pour la construction de chemins forestiers sont actuellement montées sur des engins porteurs à chenilles. On rencontre maintenant des engins porteurs à roues tout-terrain dans une gamme de dimensions convenant à des véhicules dont le poids brut (PBV) varie de 7 000 kg à 45 000 kg. Ils sont fabriqués par Standard Manufacturing Co. Inc. et pourraient convenir à une pelle hydraulique (figure 40).

Le concept de base est un engin porteur constitué de deux bâtis latéraux identiques: chacun peut indifféremment être utilisé à gauche ou à droite. Chaque côté possède trois essieux ou plus. Tous les essieux du même côté sont entraînés par une transmission à chaîne indépendante incorporant une boîte d'engrenages et un moteur hydraulique. Les chaînes de transmission, les pignons et les coussinets des essieux fonctionnent dans un bain d'huile. Les essieux situés en extrémité sont plus élevés par rapport au sol que l'essieu central, laissant ainsi ce dernier supporter une plus grande partie du PBV. Cette caractéristique permet à l'engin porteur de tourner en cercle lorsque les roues des côtés opposés tournent en sens inverse.



Figure 40. Pelle hydraulique Caterpillar 225 montée sur un engin porteur tout-terrain.

On obtiendrait, semble-t-il, les avantages suivants, comparativement aux chenilles traditionnelles:

- a) une fiabilité accrue;
- b) des vitesses de déplacement plus élevées (jusqu'à un maximum d'environ 10 km/h);
- c) une plus grande manoeuvrabilité;
- d) une meilleure garde au sol;
- e) une meilleure adaptation aux divers revêtements;
- f) une moins grande consommation de puissance;
- g) un impact réduit;
- h) une plus grande productivité de l'équipement supporté.

Pour être utilisé à la construction de chemins forestiers, l'engin porteur tout-terrain aurait besoin de roues supplémentaires. Il est possible d'ajouter jusqu'à 10 roues en plus de six montrées à la figure 40. On augmenterait ainsi de beaucoup la stabilité et la flottaison, ce qui lui permettrait de travailler sur les mêmes terrains qu'une pelle hydraulique munie de chenilles traditionnelles, à l'exception peut-être de roche dynamitée. Il pourrait également servir avec efficacité de compacteur.

Ce concept, qui n'a pas encore été mis à l'essai, présenterait sans doute certains inconvénients, comme le coût plus élevé, la largeur de l'engin porteur lorsqu'on y ajoute des roues supplémentaires (4.85 m) et la possibilité d'un effet de balancement en creusant.

Un aspect intéressant de ces engins porteurs tout-terrain réside dans la possibilité de les utiliser avec plusieurs engins de récolte. Ceci contribuerait grandement à la standardisation de l'équipement et des pièces de rechange et simplifierait l'entretien.

BIBLIOGRAPHIE

1. Anon. 1974. Big backhoe takes charge of heavy clay excavation. Road & Streets, 117(6): 82-84.
2. Anon. 1975. Well point system makes wet trenches easy. Roads & Streets, 118(4): 27-28.
3. Anon. 1975. Hydraulic excavators today. Roads & Streets, 118(4): 28-35.
4. Anon. 1981. Excavators gain popularity with eastern road-builders. Can. Pulp & Paper Ind., 34(6): 40-41.
5. Anon. 1981. Coast logger using new trucks, excavator. B.C. Lumberman, 65(8): 22.
6. Beckman, D. 1980. Backhoe or Crawler? Journal of Logging, 2(11): 2864-2866.
7. Bernhoft, Gerald W. 1972. Hydraulic excavator control system. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 720801.
8. Bucket Manufacturers Bureau. 19??. Capacity standards and nomenclature for shovel dippers, backhoe dippers, clamshell buckets, dragline buckets. Milwaukee, WI: Construction Industry Manufacturers Association, 13 pp.
9. Campeau, Louis. 1978. Rapport et commentaires sur l'utilisation d'une excavatrice hydraulique pour la construction de routes forestières. Produits Forestiers E.B. Eddy Ltée, 17 octobre 1978, 8 pp.
10. Caterpillar Tractor Co. 1976. Hydraulic excavator bucket hinge pin locations. Sales Engineering Information Release, March 1976, 5 pp.
11. Caterpillar Tractor Co. 1976. Hydraulic excavator undercarriage considerations. General Information No. TEKQ5312, December, 3 pp.
12. Caterpillar Tractor Co. 1979. Hydraulic excavator hoe bucket and stick selection. General Information No. TEKQ5325, July, 4 pp.
13. Caterpillar Tractor Co. 1981. Caterpillar performance handbook. Edition 12. Peoria, IL: Caterpillar Tractor Co., 516 pp.

14. Clark, R.D. 1979. The use of hydraulic excavators in logging road construction. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 770552.
15. Dean, Ray. 1979. A new all terrain undercarriage. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 790818.
16. Etherington, Murray, et David Deering. 1978. The fluid tappet - a new concept in high energy impact breaking. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 780452.
17. Fleming, Charles L., et Alan S. McClimon. 1972. New choice in excavating with a hydraulic digger. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 720691.
18. Gates, M., et A. Scarpa. 1975. Optimum size of equipment. ASCE. Journal of Constr. Div., 101(4): 861-867.
19. Government of Alberta. 1973. The environmental effects of timber harvesting in Alberta. Volume 1, Project Report. By: C.D. Schultz and Company Limited, Vancouver, 291 pp.
20. Greer, Donald J. 1977. Backhoe bucket design and application. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 770537.
21. Haavisto, V.F., et G.T. Atkinson. 1977. Capabilities of a modified "Timberjack" and a "Terrain-Master" for ditching on peatlands. Sault Ste Marie, Ont.: Great Lakes For. Res. Centre. Report O-X-264, 11 pp.
22. Harvey, Allan F. 1978. Buckets need maintenance too! (Part 1). Heavy Duty Equipment Maintenance, 6(1): 36-43.
23. Harvey, Allan F. 1978. Buckets need maintenance too! (Part 2). Heavy Duty Equipment Maintenance, 6(2): 32-36.
24. Hensel, J.S. 1976. "5 in 1" LWR Harvesting System. Washington, DC: American Pulpwood Association, Technical Release 77-R-2, 4 pp.
25. Hess, Donald. 1974. Earthmoving equipment: its effect on the operator. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 740449.
26. Holmes, D.C. 1978. Manual for roads and transportation. Volume Two, Revised Edition. Burnaby, B.C.: B.C. Institute of Technology.

27. Ilnilicka, E.J. 1975. Development of the Caterpillar 245 excavator with shovel attachment. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 750792.
28. Iwakawa, Osamu. 1981. A scientific method to evaluate the quality of forest roads and its applications. In: IUFRO World Congress, XVII, Tokyo, 1981, Proceedings, Division 3, pp. 95-101.
29. Johnson, L. Ward. 1979. Drainage considerations for logging roads. A Journal of Logging Management Reference Publication. Vancouver: Big Wheel Publications Ltd., 66 pp.
30. Johnson, L. Ward. 1981. Reduce road costs with an excavator. B.C. Lumberman, 65(11): 40-41.
31. Krag, R.K. 1981. Logging road construction in rock: Summary of three case studies. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Tech. Note No. TN-50, 49 pp.
32. Krag, R.K. 1982. Logging road construction in rock: Summary of Gold River and McGregor Studies. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Tech. Note No. TN-60, 35 pp.
33. Krebs, Robert D., et Richard D. Walker. 1971. Highway materials. New York, NY: McGraw-Hill Book Company, 428 pp.
34. Lammers, N.K. 1974. Development of the model 245 excavator. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 740725.
35. MacMillan Bloedel Limited. 1974. Protecting the Forest Environment, Volume Two, Operating Guidelines. Vancouver, B.C.: MacMillan Bloedel Limited.
36. Matthies, D.J. 1982. E.B. Eddy's road building profits through use of hydraulic excavators. Paper presented at 63rd Annual Meeting, Woodlands Section, Can. Pulp & Paper Assoc. on March 23-24, 1982. Montréal, 4 pp.
37. Mellgren, P.-G. 1980. Terrain classification for canadian forestry. Canadian Pulp and Paper Association, Woodlands Section Index, W.S.I. 2840 (A-2) (G-1), 13 pp.
38. Ministry of Natural Resources, Ontario. 19??. Design guidelines for forest management. By: Hough, Stansbury & Associates Limited, Toronto, Ontario, 181 pp.
39. Nagy, M.M. 1978. Productivity and cost of four subgrade construction machines. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Tech. Rep. No. TR-28, 50 pp.

40. Nagy, M.M., J.T. Trebett, et G.V. Wellburn. 1980. Log bridge construction handbook, 1980. Forest Engineering Research Institute of Canada (FERIC). Handbook No. 3, 421 pp.
41. Nakano, Tatsuro, et al. 1976. Development of a low-noise hydraulic excavator. Mitsubishi Heavy Ind. Tech. Rev., 13(1): 35-40.
42. Olson, Randy B. 1979. Building year round roads for tree-length haulage. Pulp & Paper Can., 79(3): 33-39.
43. Overend, Miles. 1977. Building roads two years ahead of time. Can. For. Ind., 97(8): 55-56.
44. Pease, David A. 1981. Rigorous road specs add to US loggers headaches. World Wood, 21(12): 16-17.
45. Power Crane and Shovel Association. 1968. Mobile power crane and excavator standards. PCSA Standard No. 1. Milwaukee, WI: Power Crane and Shovel Association (PCSA), A Bureau of CIMA, 47 pp.
46. Power Crane and Shovel Association. 1969. Mobile hydraulic excavator standards. PCSA Standard No. 3. Milwaukee, WI: Power Crane and Shovel Association (PCSA), A Bureau of CIMA, 47 pp.
47. Power Crane and Shovel Association. 1975. Hydraulic excavator user's safety manual. Milwaukee, WI: Construction Industry Manufacturers Association, 47 pp.
48. Power Crane and Shovel Association. 1976. Operating cost guide for estimating costs of owning and operating cranes and excavators. Milwaukee, WI: Power Crane and Shovel Association (PCSA), A Bureau of CIMA, 23 pp.
49. Power Crane and Shovel Association. 1977. Hydraulic excavators and telescoping-boom cranes: mountings, attachments, applications. PCSA Technical Bulletin T-6. Milwaukee, WI: Power Crane and Shovel Association (PCSA), A Bureau of CIMA, 21 pp.
50. Rodger, Bill. 1977. Environmental pressures boost sales of excavators. B.C. Lumberman, 61(5): 15-16.
51. Simpson, F.E. 1972. Development of a hydraulic excavator for the world market. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 720787.
52. Society of Automotive Engineers. 1972. Excavator hoe bucket rating - SAE J296, (SAE Standard). In: 1981 SAE Handbook, Part 2, pp. 41.213-41.214.

53. Society of Automotive Engineers. 1973. Hydraulic backhoe lift capacity - SAE J31, (SAE Standard). In: 1981 SAE Handbook, Part 2, pp. 41.214-41.215.
54. Stirling, Jim. 1979. Excavator trend covers province: North Interior follows coast. B.C. Lumberman, 63(4): 16-17.
55. Symmank, W.D. 1974. A constant flow, pressure summated hydraulic system as applied to a crawler excavator. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 740724.
56. Tellier, D. 1982. Excavatrices et décapeuses entrent en forêt. Opérations forestières, 17(1): 4-6.
57. Townsend, D.L. 1959. The performance and efficiency of standard compacting equipment. Report No. 6, The Ontario joint highway research programme. Kingston, Ont.: Queens University, 27 pp.
58. Websters' Third New International Dictionary of the English language. Unabridged, 1971. Springfield, MA: G&C Merrian Company.
59. Witmeur, B. 1978. Development of the Caterpillar 215 excavator. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 780451.
60. Wotke, Wilfried W. 1980. Hydraulic technology applied in European excavators. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers, Technical Paper 800958.

ANNEXE I

TERMINOLOGIE

DÉFINITIONS: (conformément à la réf. #58)

excavateur:

"... tout type de machine servant à l'excavation du sol."

pelle hydraulique (à godet):

syn. excavatrice hydraulique

"... engin d'excavation mû par la puissance hydraulique et comportant un châssis à chenilles ou à roues qui supporte une tourelle de commande sur laquelle sont montés la flèche principale, le bras d'excavation et un godet dont l'ouverture est orientée vers la flèche principale.

Plusieurs termes ayant la même signification sont employés indifféremment dans la documentation. Mentionnons par exemple:

godet	ou	pelle
bras d'excavation	ou	balancier
forces des dents	ou	résistance des dents <u>ou</u> efforts de creusage

Les forces des dents désignent:

- a) la force radiale appliquée à la dent et produite par le vérin du godet -
aussi appelée: force d'arrachement ou
effort d'arrachement
- b) la force radiale appliquée à la dent et produite par le vérin du bras d'excavation -
aussi appelée: force de creusage ou
effort de creusage

La contenance comble nominale est aussi appelée: capacité nominale.

ANNEXE II

CLASSIFICATION DES TERRAINS FORESTIERS AU CANADA (TIRÉ DU NO 37 DE LA BIBLIOGRAPHIE)

P R A C T I C E S U P R A S U X	CLASSE	1 - TRÈS BONNE	2 - BONNE	3 ^x - MODÉRÉE	4 ^{xy} - PAUVRE	4 ^{xy} - PAUVRE	5 ^y - TRÈS PAUVRE	5 ^y - TRÈS PAUVRE
	RÉGIME HYDRIQUE NORMAL EN ÉTÉ	TRÈS BIEN DRAINÉ	BIEN DRAINÉ	FRAIS	HUMIDE	MOUILLÉ	TRÈS MOUILLÉ	TRÈS MOUILLÉ
	TEXTURE DU SOL	SABLE GROSSIER GRAVIER MATÉRIAUX DE LA ROCHE-MÈRE	SABLE GROSSIER MOYEN LOAM SABLEUX	SABLES FINS LIMON SABLEUX LOAM ARGILEUX		LIMON, ARGILE ARGILE LIMONEUSE & SABLEUSE SOL ORGANIQUE, PROFONDEUR INFÉRIEURE À DEUX PIEDS		SOLS ORGANIQUES PROFONDEUR SUPÉRIEURE À 2 PIEDS
I N D I C E S	DÉPÔTS DE SURFACE	DUNES ET DÉPÔTS FLUVIO-GLACIAI- RES (PRÉCAMBRIEN)	MORAINE GLACIAIRE	SÉDIMENTS FLUVIO-LACUSTRES		SÉDIMENTS GLACIO-LACUSTRES STRATIFIÉS		MOUSSE DE TERRAIN ORGANIQUE, LAÏCHE ET TOURBE LIGNEUSE
	COUVERT FORESTIER CARACTÉ- RISTIQUE	PINS GRIS ÉPINETTE NOIRE (BOULEAU À PAPIER) (TREMBLE)	PIN GRIS SAPIN BAUMIER ÉPINETTE BLANCHE TREMBLE BOULEAU À PAPIER PIN BLANC	SAPIN BAUMIER ÉPINETTE BLANCHE TREMBLE PIN GRIS ÉPINETTE NOIRE	SAPIN BAUMIER ÉPINETTE NOIRE PEUPLIER ÉPINETTE BLANCHE	ÉPINETTE NOIRE MÊLÈZE THUYA DE L'EST	TOURBIÈRE BOISÉE: ÉPINETTE NOIRE MÊLÈZE SAULE	ÉPINETTE NOIRE NAINE MÊLÈZE
	VÉGÉTATION CARACTÉ- RISTIQUE DU SOUS- BOIS	LICHEN ARCTOSTAPHYLE GRAMINÉES MOUSSE HYPNACÉE	PLANTES HERBACÉES MOUSSE HYPNACÉE GRAMINÉES	PLANTES HERBACÉES MOUSSE HYPNACÉE	MOUSSE HYPNACÉE PLANTES HERBACÉES	AULNE SPHAIGNE LÉDON KALMIA	SPHAIGNE LÉDON KALMIA AULNE	CHAMAE DAPHNÉ CALICULÉ LÉDON BOULEAU NAIN
PRESSION APPROXI- MATIVE REQUISE DE L'EMPREINTE DE LA MACHINE		200 + kPa (30 + lbs po ²)	70-200 kPa (10-30 lbs po ²)	40-70 kPa (6-10 lbs po ²)	20-40 kPa (3-6 lbs po ²)	20-40 kPa (3-6 lbs po ²)	0-20 kPa (0-3 lbs po ²)	0-20 kPa (0-3 lbs po ²)

Voir appendice IV pour les noms scientifiques des plantes indices.
() - en petites quantités.

x - Peut être de la classe 1 ou 2 si l'argile ou l'argile limoneuse est sèche.
y - Peut être classé 3 s'il y a présence d'altos 30-60 cm sous la surface molle.

ÉVALUATION DE LA CLASSE DE RUGOSITÉ

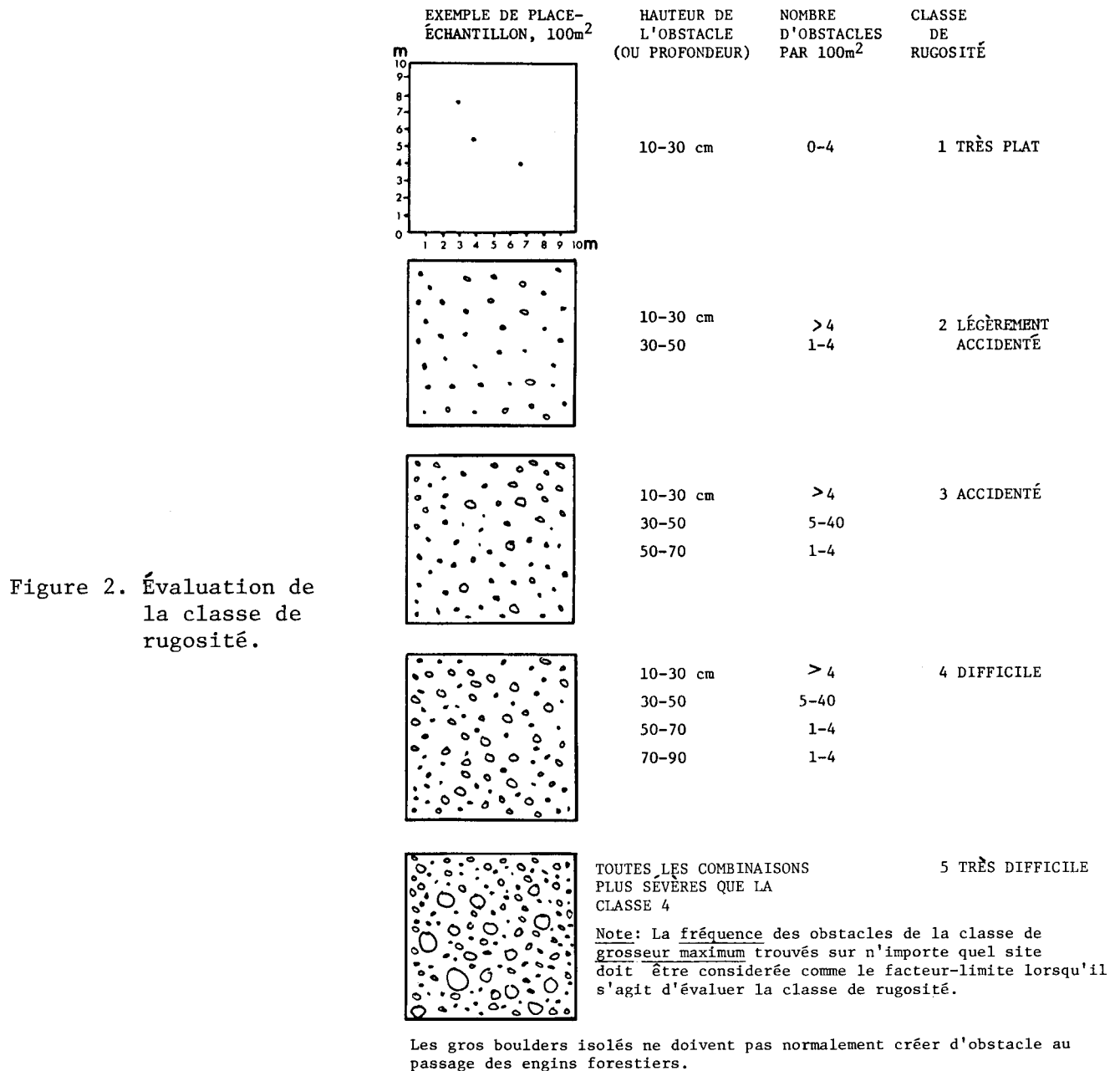


Figure 2. Évaluation de la classe de rugosité.

Figure 3. Pente.

