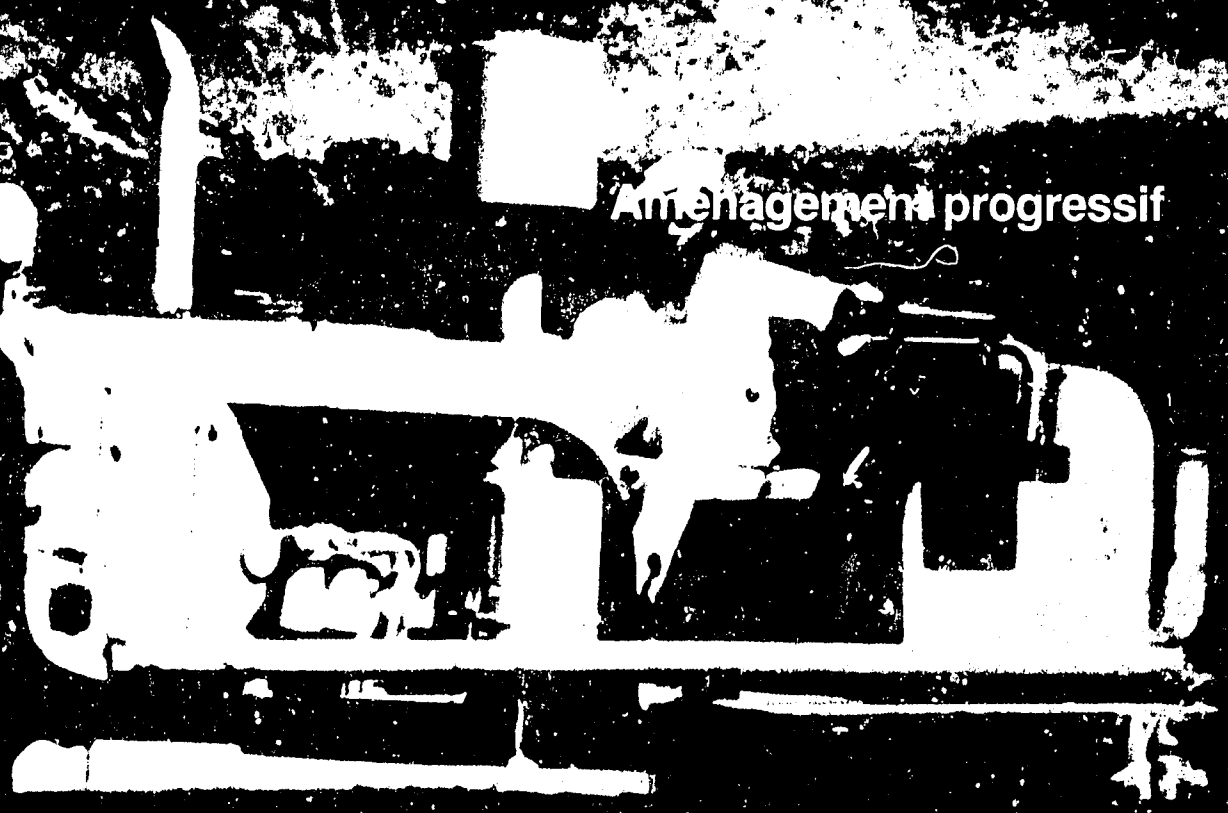
PN-AAQ-919

TECHNOLOGIE DES TRANSPORTS A L'USAGE DES PAYS EN VOIE DE DÉVELOPPEMENT

SYNTHÈSE 2

Aménagement progressif



TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

COMITE DIRECTEUR DU PROJET

KERMIT L. BERGSTRALH, *Bergstralh Associates, Inc., président*
G.A. EDMONDS, *International Labor Office (coordinateur de ILO)*
CLELL G. HARRAL, *International Bank for Reconstruction and Development (coordinateur de IBRD)*
WILLIAM G. HARRINGTON, *Maricopa County Highway Department, Arizona*
R.G. HICKS, *Oregon State University*
W. RONALD HUDSON, *University of Texas à Austin*
LYNNE H. IRWIN, *Cornell University*
WILLIAM C. LaBAUGH, JR., *Daniel Mann, Johnson and Mendenhall*
MELVIN B. LARSEN, *Illinois Department of Transportation*
VOYCE J. MACK, *U.S. Department of Transportation (coordinateur du DOT)*
RAY MILLARD, *International Bank for Reconstruction and Development (coordinateur de PIARC)*
WILBUR J. MORIN, *Lyon Associates, Inc.*
CLARKSON H. OGLESBY, *Stanford, California*
ADRIAN PELZNER, *U.S. Forest Service*
GEORGE W. RING, III, *Federal Highway Administration (coordinateur de FHWA)*
EDWARD C. SULLIVAN, *Institute of Transportation Studies, University of California, Berkeley*
PETER H. THORMANN, *U.S. Agency for International Development (coordinateur de AID)*
W.G. WILSON, *International Road Federation (coordinateur de IRF)*
ELDON J. YODER, *Purdue University*
JOHN P. ZEDALIS, *U.S. Agency for International Development (coordinateur de AID)*

DIRECTION ET COORDINATION DU PROJET

PAUL E. IRICK, *Directeur Adjoint des Activités Techniques Spéciales, TRB*
LLOYD R. CROWTHER, *Ingénieur de Projets, TRB*
H. STANLEY SCHOFER, *Directeur, Développement et Opération des Systèmes d'Information, TRB*
JOHN W. GUINNEE, *Ingénieur des Sols, Géologie et Fondations, TRB (coordinateur de la Division A)*
THOMAS L. COPAS, *Ingénieur de Projets, TRB (coordinateur de NCHRP)*
VICTOR RABINOWITCH, *Commission des Relations Internationales, National Research Council (coordinateur de NRC)*
MARY DECOY, *Secrétaire de Direction, TRB*
JUDITH L. FAULS, *Secrétaire de Projet, TRB*
JO UNCAPHER, *Editrice (version anglaise)*
ANNE MAQUET, *Traductrice (version française)*

CONSEILLER DE LA SYNTHESE

ERNEST A. DAVIDSON, *Dover, Delaware*

Le Transportation Research Board (TRB) est une agence du National Research Council, au service de la National Academy of Sciences et de la National Academy of Engineering. Le TRB a pour but d'encourager la recherche sur la nature et les performances des systèmes de transport, de disséminer l'information obtenue dans ces recherches et d'encourager l'application des découvertes valables. Le programme du TRB est réalisé par plus de 150 comités et par des équipes totalisant plus de 1800 administrateurs, ingénieurs, experts en sciences sociales et éducateurs qui collaborent bénévolement. Le programme est financé par les organismes des routes et transports des différents états, par le U.S. Department of Transportation, et par d'autres organisations s'intéressant au développement des transports.

Le Transportation Research Board fait partie de la Commission des Systèmes Socio-Techniques du National Research Council (NRC). Le NRC a été organisé en 1916 à la demande du President Woodrow Wilson, comme agence de la National Academy of Sciences, afin de permettre à l'ample communauté des hommes de sciences et ingénieurs d'associer leurs efforts à ceux des membres de l'"Academy". Les membres du "Council" sont nommés par le président de l'"Academy" et proviennent d'organismes académiques, industriels et gouvernementaux de tous les Etats-Unis.

La National Academy of Sciences a été établie par un décret d'association du Congrès signé par le Président Abraham Lincoln le 3 mars 1863, dans le but d'encourager la science et ses applications au bien-être général en réunissant les personnes les mieux qualifiées pour traiter les problèmes scientifiques et technologiques d'importance générale. C'est une organisation privée, honorifique, formée par plus de 1000 hommes de sciences élus d'après leur éminente contribution à la science, et financée par des fonds publics et privés. Selon les termes de sa charte de constitution du Congrès, l'"Academy" est appelée à agir comme conseiller officiel — mais indépendant — du gouvernement fédéral dans tout ce qui se rapporte à la science ou à la technologie, bien que n'étant pas un organisme de l'Etat, et bien que ses activités ne se limitent pas à celles au service de l'Etat.

La National Academy of Engineering a été établie le 5 décembre 1964, dans le cadre du décret d'association de la National Academy of Sciences, afin de l'aider dans son effort pour développer la science et la technique, et pour conseiller le gouvernement fédéral. Ses activités en tant que conseiller sont étroitement liées à celles de la National Academy of Sciences, mais elle est indépendante et autonome dans son organisation et dans l'élection de ses membres.

TECHNOLOGIE DES TRANSPORTS A L'USAGE
DES PAYS EN VOIE DE DEVELOPPEMENT

SYNTHESE 2

Aménagement progressif

élaboré sous le contrat AID/OTR-C-1591,
projet 931-1116,
U.S. Agency for International Development

DP21

Transportation Research Board
Commission on Sociotechnical Systems
National Research Council

000872

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES WASHINGTON, D.C. 1979

Catalogué à la bibliothèque du congrès sous les références de publication
National Research Council. Transportation Research Board.
Aménagement progressif.

(Technologie des transports à l'usage des pays en voie de développement; synthèse 2)
"Elaboré sous le contrat AID/OTR-C-1591."
Bibliographie: p.
1. Underdeveloped areas — Road design — Addresses, essays, lectures. 2. Underdeveloped areas — Road construction — Addresses, essays, lectures. I. Title.
II. Series
TEL 175.N32 1979 625.7'25'091724 79-29664
ISBN 0-309-02977-5

Remarque

Le projet, sujet de ce recueil, a été approuvé par le Conseil Directeur du National Research Council, dont les membres font partie des conseils de la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering et l'Institute of Medicine. Les membres du comité responsable de ce recueil ont été choisis pour leur grande compétence, tout en respectant l'équilibre souhaitable.

Ce recueil a ensuite été révisé par un groupe autre que les auteurs, selon les procédures approuvées par un Comité de Révision du Rapport, formé par des membres de la National Academy of Sciences, la National Academy of Engineering et l'Institute of Medicine.

Photo de la couverture: Emploi d'un bulldozer pour le nivellement assez grossier d'une route dans le sud de l'Ethiopie.

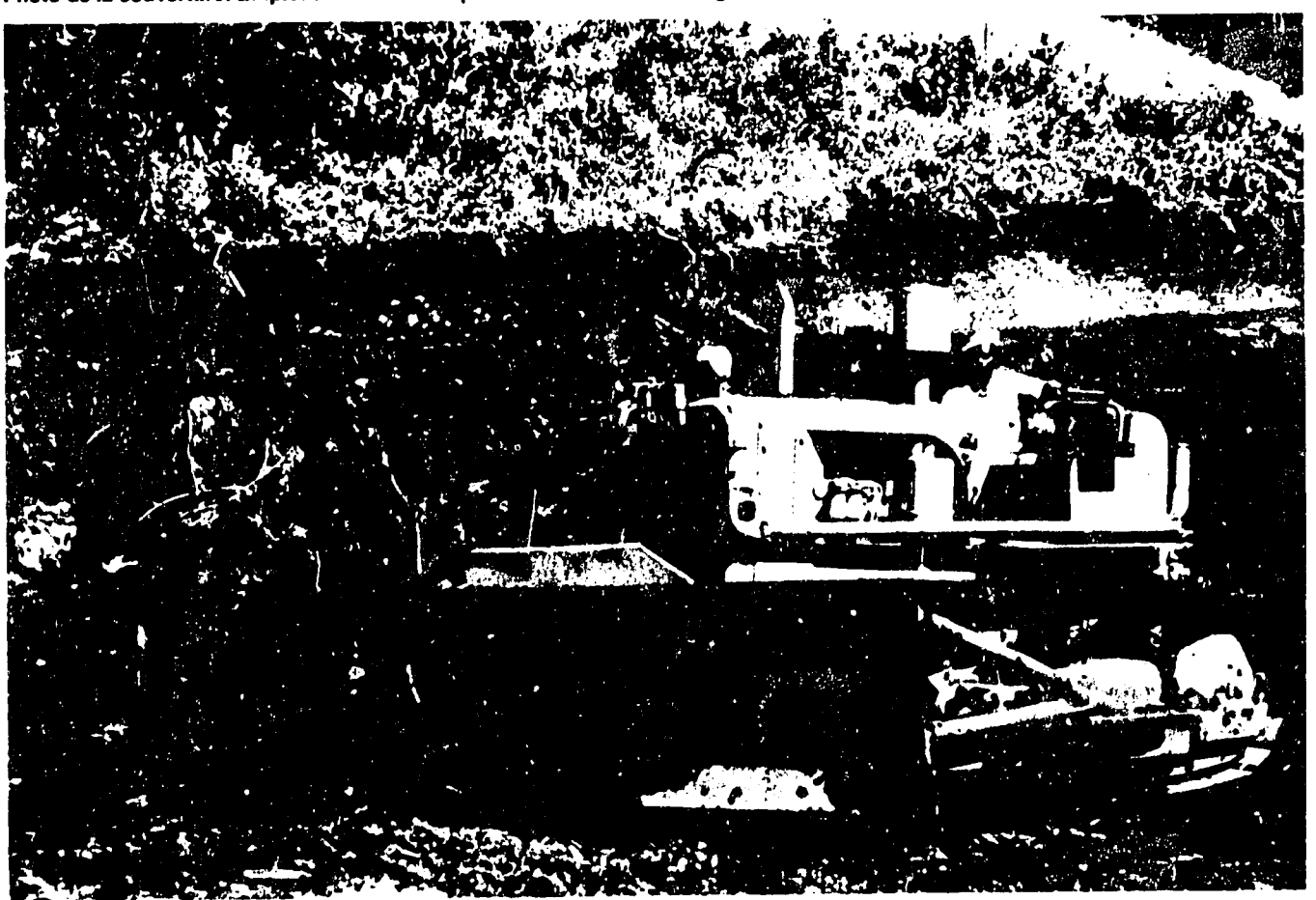


Table des matières

DESCRIPTION DU PROJET v

AVANT-PROPOS ET REMERCIEMENTS vi

CHAPITRE I. INTRODUCTION 1
- Situation générale
- Aménagement progressif

CHAPITRE II. PLANIFICATION POUR UN AMENAGEMENT PROGRESSIF 2
- Généralités
- Tracé
- Volume de circulation
- Ruissellement et drainage
- Sols et matériaux
- Méthodes de construction — avec emploi intensif de main-d'oeuvre ou de matériel
- Méthodes de réalisation — contrat ou régie
- Programmation du travail

CHAPITRE III. CONCEPTION D'UN AMENAGEMENT PROGRESSIF 6
- Généralités
- Etude du terrain
- Plans linéaires
- Normes de construction
- Sections types
- Drainage
- Revêtements
- Ponceaux
- Matériau des ponceaux
- Franchissement de cours d'eau
- Ponts
- Erosion
- Considérations écologique
- Spécifications

CHAPITRE IV. CONSTRUCTION DU PROJET 17
- Mobilisation
- Outils et matériel
- Préparation et défrichage du terrain
- Sols
- Mouvements de terre
- Déblai du rocher
- Couches de surface
- Ponceaux tubulaires
- Franchissement de cours d'eau peu profonds
- Ponts en béton armé
- Béton cyclopéen
- Murs de soutènement en pierres sèches
- Gabions
- Entretien

REFERENCES 40

Description du projet

Le développement de l'agriculture, la distribution des produits alimentaires, l'accès aux services médicaux, et l'accès à l'information grâce aux services éducatifs et à d'autres moyens de communication dans les régions rurales des pays en voie de développement, dépendent en grande partie des facilités de transport. Même si les transports par voie ferrée et par voie navigable jouent un rôle important dans certaines régions, ce sont surtout les réseaux routiers qui sont partout nécessaires, car ils fournissent un moyen sûr et relativement bon marché pour le mouvement des hommes et des marchandises. En général, des routes à faible capacité pouvant accomoder 5 à 10 véhicules par jour et, plus rarement, jusqu'à 400 véhicules par jour, sont suffisantes.

L'utilisation d'une technologie spéciale, déjà accessible dans de nombreux pays, peut faciliter l'étude, le tracé, la construction et l'entretien des routes à faible capacité, surtout en ce qui concerne le coût, la qualité et les performances de ces routes.

En octobre 1977, le Transportation Research Board (TRB) a initié ce projet spécial d'une durée de 3 ans, sous le patronage de l'U.S. Agency for International Development (AID) dans le but d'améliorer le transport rural dans les pays en voie de développement, en rendant plus accessibles les sources d'information existantes sur la conception, le tracé, la construction et l'entretien des routes à faible capacité. Avec le conseil et sous la conduite d'un Comité de Direction du projet, le TRB définit, produit et transmet des informations à travers un réseau de correspondants dans les pays en voie de développement. L'aboutissement général de ce projet sera de favoriser l'utilisation efficace de l'information existante, pour aider au développement économique de l'infrastructure des transports, et, de cette façon, mettre en valeur d'autres aspects du développement rural dans le monde entier.

En plus du regroupement et de la dissémination de l'information technique, des visites de chantiers, des conférences aux Etats-Unis et à l'étranger, et d'autres formes de communication permettront une interaction constante avec les usagers.

COMITE DE DIRECTION

Le Comité de Direction est composé d'experts qui connaissent les caractéristiques aussi bien physiques que sociales des pays en voie de développement, leurs besoins au point de vue transport, l'état actuel de leur technologie dans ce domaine, et qui ont aussi acquis une certaine expérience quant à la mise en pratique de cette technologie.

Les fonctions principales de ce Comité de Direction sont d'aider à définir les usagers et leurs besoins, ainsi que les informations qui répondent à ces besoins, et d'identifier les ressources documentaires et humaines pour le développement de ces informations. Par l'intermédiaire de ses membres, le Comité pourvoit à la liaison entre les différentes fonctions relatives au projet et dirige toutes les phases du projet.

Le personnel du projet est responsable de la préparation et de la transmission de l'information, du développement d'un réseau de correspondance dans la communauté des usagers et de l'interaction entre usagers.

LA DOCUMENTATION

Les deux genres de documents principaux de ce projet sont des recueils d'informations publiées antérieurement sur des sujets assez restreints et des synthèses de connaissances et pratiques sur des sujets plus vastes. Le personnel attaché au projet prépare environ 6 recueils par an; 2 synthèses sont publiées chaque année par des experts. De plus, les comptes rendus d'au moins 2 conférences internationales sur les routes à faible capacité sont transmis aux correspondants qui participent au projet. En résumé, l'objet de ce projet est de publier et de disséminer entre 20 et 30 documents qui couvrent l'essentiel des connaissances sur la technologie des routes à faible capacité.

Tous les deux mois, les nouvelles du projet paraissent dans la revue "Transportation Research News"; les correspondants qui participent au projet reçoivent une copie de ces articles.

INTERACTION AVEC LES USAGERS

Un certain nombre de mécanismes assurent l'interaction entre le personnel du projet et les usagers de l'information acquise. Des formulaires de révision sont joints à chaque document, afin que les destinataires aient l'occasion de donner leur avis sur les informations obtenues et sur la façon de les améliorer. Au cours de visites dans les pays en voie de développement, le personnel du projet obtient de première main des suggestions ayant trait au projet. En outre, des conférences internationales et des réunions avec des personnes de pays en voie de développement, qui étudient aux Etats-Unis et qui assistent à la réunion annuelle du TRB, sont l'occasion d'un échange d'idées entre le personnel et les usagers.

Avant-propos et remerciements

Ce recueil est le second d'une série de synthèses qui seront publiées dans le cadre du projet du Transportation Research Board, "Technologie des transports à l'usage des pays en voie de développement". A la fin de ce recueil, sur la face intérieure de la couverture, le lecteur trouvera une liste de tout le matériel publié jusqu'à ce jour dans le cadre du projet.

Chaque synthèse sera d'abord publiée en anglais; les versions françaises et espagnoles paraîtront aussitôt la traduction terminée.

L'objet de ce recueil est de réunir une documentation pratique et utile qui puisse aider les responsables de l'aménagement progressif des routes à faible capacité dans les pays en voie de développement. Les correspondants de ce projet seront priés de nous faire parvenir les résultats; ceux-ci permettront d'évaluer dans quelle mesure l'objectif a été atteint et influenceront la nature des futures synthèses.

Nous remercions Tippetts-Abbett-McCarthy-Stratton, Engineers and Architects, New York, de nous avoir autorisés à reproduire dans cette synthèse certaines figures de la Référence 17.

Nos remerciements aussi aux bibliothéques et services d'information qui nous ont fourni les références utilisées pour l'élaboration de ce texte de synthèse. Nous remercions tout spécialement la Library Services Division du U.S. Department of Transportation et le Library and Information Service du U.K. Transport and Road Research Laboratory.

Finalement, le Transportation Research Board remercie les membres du Comité de Direction pour leur concours et pour la façon dont ils dirigent le projet, et tout spécialement William G. Harrington, Maricopa County Highway Department, Arizona, Melvin B. Larsen, Illinois Department of Transportation, et Edward C. Sullivan, Institute for Transportation Studies, University of California, Berkeley, qui ont bien voulu prêter leur assistance à la préparation de cette synthèse.

CHAPITRE I

Introduction

SITUATION GENERALE

Dans le passé, de nombreux programmes d'aide aux pays en voie de développement étaient orientés à un développement intégral ou à des projets individuels de grande envergure; actuellement, par contre, on insiste plutôt sur l'aide aux communautés rurales pauvres. L'accès et le transport sont des conditions préalables à l'intégration des communautés rurales dans l'économie urbaine. Les voies d'accès sont très demandées par les communautés rurales, parce que, d'une part, elles apportent des avantages immédiats et, d'autre part, les routes sont considérées comme le premier pas vers d'autres services futurs. Les routes permettent de couvrir une certaine superficie de façon plus ample et plus flexible que les chemins de fer ou les voies navigables, et sont indiquées pour desservir des populations rurales dispersées.

Les voies d'accès sont souvent très pauvres dans les zones rurales des pays en voie de développement. Les villages sont reliés par des sentiers ou de simples pistes de terre qui suffisaient pour la circulation des piétons et des animaux, mais qui sont en général impraticables pour des véhicles motorisés. Malheureusement, peu de pays en voie de développement ont les ressources financières nécessaires pour construire des routes à faible capacité dans ces régions. Cependant, afin de fournir le plus de kilomètres de route possibles, tout en restant dans les limites des fonds disponibles, on peut recourir à la méthode d'aménagement progressif pour développer et construire à bas prix, des routes à faible capacité. L'aménagement progressif met en évidence les aspects pratiques de la construction de la route la plus économique et la plus utile, qui réponde aux besoins actuels et d'un futur immédiat. Au fur et à mesure que le développement rural progresse et que le volume de circulation augmente, la route peut être aménagée et améliorée par étapes, afin de satisfaire les besoins grandissants.

AMENAGEMENT PROGRESSIF

On emploie le terme " aménagement progressif " pour décrire l'aménagement d'une route en plusieurs phases, qui apportent l'une après l'autre les améliorations permettant de répondre aux besoins du moment. Les améliorations ont lieu après un certain laps de temps, lorsque le volume de trafic ou d'autres considérations les font apparaître nécessaires. Les diverses étapes de construction peuvent être réalisées en quelques années, lorsqu'il s'agit d'aménagements locaux ou de peu d'importance, ou peuvent s'étendre sur de nombreuses années, lorsque des améliorations importantes sont nécessaires. Ce genre d'amélioration ou d'élévation de catégorie rentre plutôt dans les travaux d'aménagement que dans l'entretien de routine.

Un aménagement progressif est recommandable dans les deux cas suivants :

(a) Un sentier ou une piste ne suffisent plus à cause de l'augmentation de la demande, qui peut ou non avoir été prévue par l'autorité responsable. Un aménagement progressif peut aussi être indiqué pour un sentier ou un chemin qui avait déja été aménagé auparavant. Un tel chemin peut ne pas convenir à cause de sa couche de surface, de sa largeur, des franchissements de ruisseaux, ou pour d'autres raisons, et doit dès lors être aménagé.

(b) Une route a été tracée, mais elle est trop coûteuse pour être construite en une seule fois, aussi la construit-on en plusieurs étapes. Dans ce cas, il faut concevoir et construire chaque étape de façon à pouvoir l'incorporer au projet final, dans la mesure du possible. De ces deux cas, le premier est le plus courant.

Bien qu'en général, il s'agisse d'aménager une voie d'accès déjà existante, il faudra parfois construire une route là où il n'existe ni sentier, ni piste, ni chernin. Il faut alors décider quelles normes s'appliqueront à la nouvelle route, et jusqu'à quel point il faut utiliser le tracé qui existe déjà. En général, les diverses étapes se suivent de la façon suivante. Au cours de l'étape initiale, la piste ou le sentier est dégagé, nivelé et drainé, de manière à ce que la route soit praticable pour les véhicules, par temps sec. Ensuite, on ajoute un revêtement graveleux ou stabilisé pour améliorer la stabilité et rendre la route praticable pendant de plus longues périodes. Les étapes suivantes peuvent inclure le revêtement de passages à gué ou la construction de ponts pour franchir les ruisseaux. L'étape finale consisterait à élargir la route afin de permettre un trafic plus intense, ou à revêtir de bitume afin de réduire le travail d'entretien.

Les améliorations locales, ou d'un endroit précis, représentent également des étapes de la construction, ainsi que l'affaiblissement des virages raides ou dangereux, ou le remplacement de guès par des ponceaux ou par des ponts. L'aménagement progressif comprend également des combinaisons ou variations des étapes indiquées ci-dessus.

Il faut toujours tenir compte de deux considérations. Premièrement, chaque étape doit procurer un service utilisable, qu'il faut protéger contre une détérioration excessive par le climat et par l'usage. Par exemple, une protection contre l'érosion doit être aménagée au cours de la même étape de construction que la route, le pont ou le gué à protéger, et ne doit pas être différée à une étape ultérieure. Deuxièmement, lors de la conception ou de la construction de toute étape d'un projet, il faut se rappeler que chaque étape doit être utilisée ou s'incorporer logiquement dans un aménagement futur. Ceci s'applique tout spécialement au tracé et aux travaux plus coûteux et permanents.

Un aménagement progressif peut être nécessaire pour des raisons autres que le manque de fonds :

(a) D'autres programmes de travaux publics peuvent réduire le nombre d'ingénieurs ou de conducteurs de travaux disponibles.

(b) Le matériel nécessaire pour construire le projet en entier peut être utilisé à un autre endroit. L'aménagement progressif requiert moins de ressources, surtout durant les étapes initiales.

(c) Les conditions mêmes de construction dictent parfois une construction en plusieurs étapes. On peut souvent assécher des zones humides ou stabiliser des remblais et fonda-

tions en laissant passer plus de temps, ou en utilisant des méthodes de construction plus complexes.

(d) Retarder le revêtement permanent de la surface de roulement est également une pratique courante, afin de détecter et de corriger les zones ramollies et instables. Le revêtement peut ainsi être différé pendant plusieurs années et s'effectuer au cours d'une étape postérieure.

Cette synthèse analyse la conception, le tracé et la construction des routes à faible capacité, surtout du point de vue de l'aménagement progressif. On tient compte des normes de construction et de la qualité voulue, mais on insiste surtout sur les pratiques et méthodes de construction, et sur les divers facteurs d'un projet qui soit bon mais économique. La synthèse ne prétend pas exposer les nombreuses méthodes techniques et détaillées qui sont décrites dans les publications de la liste de références qui suit le Chapitre IV. Dans les prochains chapitres les numéros entre parenthèses renvoient à ces références. Ainsi, un mot suivi de (14) signifie que la référence 14 contient plus d'information sur le sujet en question.

CHAPITRE II

Planification pour un aménagement progressif

GENERALITES

Cette synthèse considère deux catégories de routes : celles de la Classe 1, qui reçoivent moins de 50 véhicules par jour (TJM), et celles de la Classe 2, avec un TJM de 50 à 400. Ces routes se dénomment communément routes tertiaires ou d'accès, ou peuvent être connues sous un nom local, tel que routes agricoles, routes du thé, du coton ou du café. Le faible volume de trafic qui parcourt les routes de la Classe 1 et de la Classe 2 comprend normalement des véhicules motorisés, et d'autres tirés par des animaux, ainsi que des bicyclettes et des piétons. En général, elles ont de 5 à 15 kilomètres de long, mais elles peuvent aussi inclure des voies de pénétration ou de développement de plus de cent kilomètres.

Lorsque l'on décide de procurer une route, il faut également décider quel niveau de service sera fourni. Cette décision détermine jusqu'à quelle étape la route sera construite. Dans la prise de décision du niveau de service, il faut tenir compte de facteurs tels que la quantité de trafic et sa nature, le retard maximum tolérable dans le mouvement de la circulation et les contraintes et limitations du financement.

La plupart des routes de la Classe 1 ne passent pas de l'étape d'une surface de roulement en terre naturelle nivelée, tandis que celles de la Classe 2 reçoivent généralement un revêtement granuleux, tel que du gravier, un sol stabilisé ou des pierres concassées. Pour un volume de trafic plus important, on peut imperméabiliser le revêtement des routes de la Classe 2 au moyen de matériaux bitumineux. Des exceptions à ces concepts généraux se justifient souvent lors de conditions spéciales de topographie, de climat ou d'entretien. Par exemple, une étude au moins dans la savanne africaine a montré que la transformation d'un chemin de terre non aménagé en une route de gravier peut se justifier économiquement lorsque le volume moyen de trafic atteint environ 40 vpj (véhicules par jour). De même, le passage d'une route non aménagée à une route de bitume peut se justifier pour un TJM de 120 véhicules, et d'une route de gravier non aménagée à une route asphaltée pour un TJM de 170 (**1**). Ces chiffres justifient également une politique d'aménagement progressif, et garantissent que les coûts totaux de transport et la mise de fonds initiale seront toujours réduits au minimum.

Deux termes s'emploient couramment pour décrire le niveau de service requis des routes à faible capacité. " Surface de roulement tous temps " décrit une route praticable durant toute l'année. Les ruisseaux et rivières peuvent être traversés par temps normal, mais sont infranchissables pendant une période indéterminée lors d'orages ou de crues. La route est alors fermée, du moins certains tronçons, durant ces périodes. " Routes tous temps " décrit une route qui non seulement est praticable en toutes saisons, mais qui en outre permet de franchir les ruisseaux et rivières pendant un orage, et immédiatement après celui-ci.

Une seule voie est en général suffisante pour les routes de la Classe 1 et pour celles à faible capacité de la Classe 2 (**2**). On construira certaines zones permettant aux véhicules de s'arrêter ou de tourner, afin d'augmenter la capacité des routes à simple voie dont l'assiette a moins de 5,5 mètres de large (**3**). Ceci leur permettra un volume de circulation supérieur, sans retards excessifs. On considère que deux voies sont indispensables lorsque le volume moyen de trafic approche de 200 vpj (**3,4**). Le nombre de voies dépend des caractéristiques du trafic, de la proportion de véhicules tirés par des animaux, et de la politique suivie par l'Etat.

Les routes à faible capacité requièrent rarement des dépenses élevées ou l'emploi de beaucoup de main-d'oeuvre lors de l'étape de conception. Cependant, il est essentiel que les responsables du projet final reçoivent l'information de base nécessaire. Une bonne connaissance des conditions et des problèmes spécifiques à chaque projet permet d'eviter des erreurs qui pourraient coûter cher, et de réaliser le travail méthodiquement. Il est bon de visiter l'emplacement de la route et de se familiariser avec les conditions du terrain. Les informations de première main sur les conditions topographiques et climatologiques peuvent être de grande valeur. Dans le cas de l'amélioration d'une route qui existe déjà, les habitants de la région ou les manoeuvres chargés de l'entretien de cette route connaîtront souvent tous ses problèmes particuliers. Ils peuvent également fournir certaines informations sur les crues locales, les matériaux de construction utilisables et la main-d'oeuvre disponible dans la région.

Tableau 1. Normes de dimensionnement suggérées.

Variable	Routes de la Classe I			Routes de la Classe II		
TJM lors de la mise en service de la route (trafic mixte)	moins de 50			50-400		
Terrain	plat	ondulant	montagneux	plat	ondulant	montagneux
Vitesse de base (Km/h)	60	40	30	80	65	40
Pente maximum (%)	6,0*	8,0*	10,0*	6,0	7,0	9,0
Largeur de l'assiette (m)	4,0 a 5,0 selon la vitesse de base			5,5 a 6,2 selon la vitesse de base		
Largeur d'un accotement (m)	1,0			1,5		
Largeur totale de la route (m)	6,0 a 7,0			L < 20 8,5 a 9,2 L > 20 7,0 a 7,7		
Largeur des ponts (m)	3,5 a 4,0 (simple voie)			8,5 a 9,2		
Hauteur libre (m)	5,0			5,0		
Charge mobile de base (AASHO ou équivalente)	H15-44			HS20-44		
Charge d'essieu pour le calcul du revêtement (limite légale) (t)	—			9		
Largeur de l'emprise (m)	25			35		
Type de surface de roulement (en supposant une base adéquate)	Grenue			Grenue, traitement de surface simple ou double		

*Certains experts recommandent une pente maximum de 7,0, 10,0 et 12,0 respectivement, un peu plus pour les courtes distances.

TRACE

Si le projet consiste à transformer une piste de terre en une route aménagée, il n'est pas très difficile de décider jusqu'à quel point utiliser le tracé existant. En général, le tracé du chemin suit le relief du sol; il serpente pour éviter les pentes trop escarpées et autres obstacles. Il suit parfois de vieux sentiers. Il est peu probable que le tracé convienne pour la circulation de véhicules motorisés, sauf peut-être dans le cas d'un terrain relativement plat. Pour améliorer la route, il faut dès lors commencer par adapter le tracé vertical et horizontal aux normes de tracé qui ont été choisies (Tableau 1). On suivra souvent la direction de l'ancienne piste, en ne s'en écartant que sur de courtes distances, là où un nouvel alignement convient mieux. Parfois, un alignement différent est nécessaire pour éviter des obstacles importants ou pour franchir les ruisseaux.

Lorsqu'il s'agit de placer un revêtement permanent, les décisions concernant le tracé sont plus complexes. Il est probable qu'un revêtement permanent fixe le tracé pour de nombreuses années, aussi dans ce cas il peut être nécessaire de revoir tout l'alignement, de façon à déterminer les changements souhaitables. Il est parfois indiqué de tracer la route plus près des gisements de matériaux, de procurer de meilleures voies d'accès, ou d'éliminer certains problèmes gênants d'entretien.

VOLUME DE CIRCULATION

Une estimation approximative du volume de traffic prévu est nécessaire. S'il n'existe qu'une piste ou un sentier, une route en terre bien nivelée suffira probablement, du moins comme étape initiale. Cependant, les activités de transport dans le voisinage devraient augmenter. Le mouvement de produits vers les centres d'achat locaux de l'etat, ou le mouvement entre les marchés des villages avoisinnants, représenteront

probablement la majeure partie de l'activité. La construction d'une route engendrera aussi certaines activités, telles qu'une augmentation des services publics. L'amélioration de la route peut favoriser le développement et le transport de certaines ressources naturelles locales, telles que le bois ou le bétail. Si les produits et marchandises ne sont pas d'habitude transportés par véhicules, on peut toutefois arriver à une estimation approximative en se basant sur les charges transportées par animal ou par personne. En réunissant toutes ces informations, on peut se former une idée des besoins à satisfaire.

Lorsqu'il existe déjà une route praticable pour les véhicules motorisés, on peut réaliser des comptages de la circulation et prévoir sa croissance par projection. Dans de nombreux pays, les ministères responsables du développement économique ou agricole réunissent les informations relatives au développement local potentiel, dont il faut tenir compte lors de l'estimation de la croissance du trafic.

Une fois l'information sur le trafic réunie, on peut comparer ces données avec les indications de la Figure 1 pour l'étape à développer.

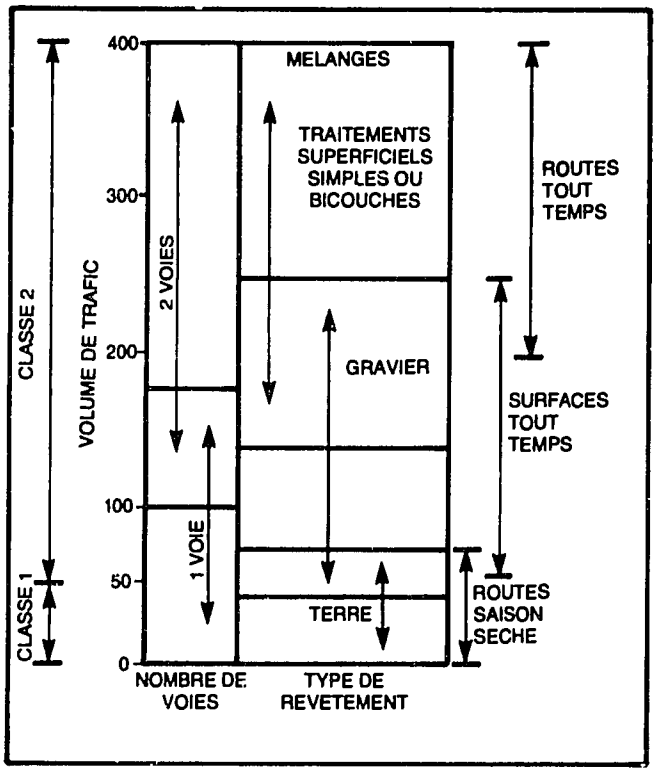
RUISSELLEMENT ET DRAINAGE

Il est difficile d'obtenir des informations valables sur les précipitations et le ruissellement. Cependant, l'écoulement des eaux a un effet très destructif et joue, de ce fait, un rôle très important dans la planification et le coût d'un projet. Un manque d'informations sur les zones directement affectées peut être une cause principale de la détérioration prématurée de nombreuses routes économiques, construites pour résister à des conditions normales. On peut économiser sur certaines composantes de la construction ou de l'aménagement d'une route, mais les économies qui ne tiennent pas correctement compte de l'écoulement causent souvent la ruine de la route, et la rendent complètement impraticable durant de longues périodes.

Le problème consiste à obtenir des informations dignes de confiance sur la quantité et la durée des précipitations, les bassins versants, les caractéristiques de ruissellement du terrain et le niveau maximum des crues dans les zones directement affectées. On peut obtenir de nombreuses informations en observant attentivement les marques laissées par l'eau sur les arbres et les buissons le long des ruisseaux, et les dépôts dans les plaines d'inondation. Les souvenirs des habitants locaux peuvent également être utiles. Il faut ensuite analyser toute l'information pour déterminer les dimensions des ouvrages de drainage.

Si on envisage un aménagement progressif des ouvrages de drainage, il faut se rappeler que la quantité d'eau de ruissellement reste la même, indépendamment du volume de circulation sur la route. Aussi, les ouvrages de drainage ne se prêtent-ils pas à un aménagement progressif, si ce n'est pour la longueur des ponceaux et la largeur des ponts. Le débouché de l'ouvrage doit permettre l'évacuation de la même quantité d'eau, quelle que soit l'étape de la construction. Dans les régions arides, où les orages sont peu fréquents mais torrentiels, les ouvrages de drainage sont rarement justifiés. Des dispositions doivent être prises pour installer des radiers partout où l'écoulement provoque une érosion sévère. Afin de réduire le coût de la première étape de construction, à certains endroits on peut permettre que le courant traverse la surface de la route, au lieu d'installer des ponceaux. Cette méthode est souvent pratique lorsque la surface de roulement est stable, la route ne s'inonde qu'après une pluie torrentielle et l'érosion ne cause pas de problèmes.

Figure 1. Guide pour déterminer le nombre de voies de circulation et le type de revêtement en fonction du volume de trafic.



SOLS ET MATERIAUX

Sols

La plupart des projets de construction requièrent la manipulation du sol, soit pour construire les remblais, pour profiler l'assiette du chemin ou pour assurer le drainage. Lors de la planification du travail, il est important de savoir comment le sol répondra à cette manipulation. Généralement, on extrait le sol immédiatement adjacent à la route pour former les fossés latéraux, et on le dépose sur la chaussée pour construire l'assiette de la route. Cependant, si le sol est une argile lourde, humide, ou trop collante ou dure, il peut être difficile à travailler et, dans certains cas, il peut même être inutilisable.

Il est très recommandable, si pas indispensable, d'étudier les conditions du sol afin de déterminer s'il est facile à manipuler et s'il convient. Le personnel expérimenté peut d'habitude déterminer directement sur le terrain si le sol convient ou pas, sans recourir à aucune étude élaborée. Le personnel moins expérimenté se basera sur les résultats d'essais, fournis par le laboratoire central.

Une rapide observation du sol suffit normalement pour les routes de la Classe 1, lorsqu'aucune difficulté évidente n'apparaît. Cependant, si la qualité du sol laisse à désirer, ou si le volume de circulation indique la nécessité d'une étape plus avancée construction, une investigation et une analyse plus approfondies sont alors nécessaires **(6,10,11,12)**. L'utilisation et le traitement du sol seront analysés plus en détail dans le Chapitre IV de cette synthèse.

Autres matériaux

Avant que la planification ne soit terminée, il faut s'assurer que les matériaux seront disponibles en temps voulu, à l'endroit où ils sont nécessaires. Pour raisons d'économie on emploiera, si possible, les matériaux locaux **(10)**. On trouve souvent des graviers et matériaux grenus en bordure de la route ou dans le lit des ruisseaux environnants et sur les terrasses d'inondation **(11)**. Les habitants des environs savent généralement quelles autres sources de matériaux sont exploitées dans la région. Des photographies aériennes et les cartes géologiques permettent également de localiser les gisements probables **(16)**.

S'il n'y a pas de gravier, sable ou autres matériaux grenus accessibles à une distance de transport raisonnable, on peut améliorer la qualité du sol in situ en le mélangeant avec du ciment, de la chaux ou de l'asphalte **(12)**.

La pierre locale s'emploie dans la construction de ponceaux, le contrôle de l'érosion, les murs de soutènement et le franchissement des ruisseaux. Elle offre l'avantage de convenir parfaitement aux méthodes de construction avec emploi intensif de main-d'oeuvre. Il faut cependant prendre soin à n'utiliser que des pierres dures et résistantes. Il faut éviter les pierres trop usées ou qui se détériorent rapidement une fois exposées aux intempéries. Si on ne dispose pas de pierres pour la construction des ponceaux, on peut employer du béton ou de la tôle ondulée. Habituellement, la tôle ondulée est importée, tandis que le ciment est souvent produit dans le pays et peut s'obtenir facilement. Pour des ponceaux assez petits, le béton revient souvent moins cher; mais pour des ouvrages plus grands, les ponceaux en tôle ondulée préfabriqués et assemblés par des boulons, peuvent être moins onéreux que des petits ponts. Il est bon de calculer chacun de ces coûts. Lorsque l'on emploie comme ponceaux des conduits en béton, ceux-ci peuvent être fabriqués in situ, ou bien à un endroit central et transportés ensuite sur les lieux de travail. Les avantages et inconvénients de chacune de ces méthodes de production doivent être soigneusement analysés avant de décider laquelle appliquer **(7)**. Si l'accès au lieu de travail est difficile, il est souvent moins coûteux de transporter le ciment et les moules pour ponceaux que de transporter les ponceaux tout faits. Ceci suppose, cependant, que l'on peut se procurer du sable, des pierres et de l'eau dans la région. Il est important de se rappeler que la fabrication in situ a souvent lieu dans des conditions défavorables, qu'un matériel spécial est nécessaire, et que la main-d'oeuvre manque d'expérience. Une stricte surveillance et un contrôle sévère sont indispensables. La fabrication centralisée permet, au contraire, un contrôle plus strict avec un personnel plus expérimenté, et donne en général un produit de meilleure qualité. Le coût de production à la centrale peut être inférieur, mais le coût du transport au lieu de travail est plus élevé, même si celui-ci est facilement accessible. La fabrication in situ présente l'inconvénient de se limiter exclusivement à la production de ponceaux aux dimensions des moules disponibles.

Le bois local trouve une variété d'emplois, par exemple pour les charpentes, les pieux et les coffrages. Dans les régions où l'on trouve des termites, on n'utilisera le bois que pour des constructions provisoires, à moins qu'il n'ait été traité. Il arrive que, dû au coût additionnel du traitement, l'utilisation de bois perde tout avantage économique.

METHODES DE CONSTRUCTION— AVEC EMPLOI INTENSIF DE MAIN-D'OEUVRE OU DE MATERIEL **(15)**

La politique suivie par l'état peut très bien déterminer si le travail se réalisera avec emploi intensif de main-d'oeuvre ou de matériel. Sinon, la décision dépendra des avantages économiques offerts par l'une des deux méthodes. Selon la nature de chaque projet, la solution la plus pratique sera probablement une combinaison de ces deux méthodes.

On doit définir la main-d'oeuvre et le matériel disponibles, ainsi que les possibilités réelles pour entretenir ce dernier. Il faut également analyser la nature des matériaux et les problèmes de construction qui se présentent. Les méthodes qui préconisent l'emploi intensif de main-d'oeuvre conviennent généralement lorsque **(a)** le terrain est plat ou ondulant, **(b)** le sol est léger et permet l'utilisation aisée d'outils, **(c)** la quantité de mouvements de terre est réduite, et **(d)** les ouvrages de drainage sont simples. Dans le cas d'une région montagneuse ou très accidentée, il faudra employer plus de matériel. De même, si la quantité de remblai est importante, si le sol est très rocheux ou s'il est dur, de plasticité élevée, pierreux et difficilement maniable avec des outils manuels, il faudra plus de matériel mécanisé. On peut obtenir un bon équilibre entre la main-d'oeuvre et le matériel, par exemple lorsque les matériaux de remblai ou de revêtement doivent être transportés sur une distance de plusieurs kilomètres. Un camion à benne basculante peut être chargé par les manoeuvres, conduit jusqu'au lieu du travail, et déchargé; le matériau est ensuite étendu par les ouvriers.

Il ne faut pas négliger la possibilité d'employer le matériel local ou des véhicules tirés par la force animale, pour certaines parties du travail. On peut utiliser des tracteurs agricoles, auxquels on a fixé des lames répandeuses, pour des petits travaux de nivellement, et des véhicules tirés par des animaux pour transporter des charges relativement légères.

L'emploi maximum des ressources de la région requiert plus de contrôle au niveau intermédiaire. Cependant, il existe de nombreuses combinaisons de main-d'oeuvre, de matériel pour la construction de routes et de matériel local, qui permettent de réaliser un projet à coût réduit.

METHODES DE REALISATION— CONTRAT OU REGIE

La planification nécessaire diffère selon que le projet est exécuté sous contrat ou par des employés publics, en particulier s'il s'agit d'un aménagement progressif.

Aussi simple le travail soit-il, s'il se réalise sous contrat, certains documents de spécifications techniques sont nécessaires, ainsi qu'un accord écrit. Ces documents spécifieront, entre autres, une description du travail à réaliser, la qualité du produit fini et la date de réception. Ils seront plus ou moins détaillés, selon l'envergure et la complexité du projet. On tâchera de rendre les spécifications aussi claires et brèves que possible, tout en conservant les normes de qualité du travail désirées. Les méthodes à appliquer doivent être également spécifiées, pour déterminer la somme à payer à l'entrepreneur pour son travail. Elles doivent être précises et exactes, mais également simples et pratiques.

Si le travail est exécuté en régie, les documents peuvent se limiter à des schémas et à des instructions générales. De nombreuses décisions quant aux méthodes et détails de

construction peuvent être laissées au conducteur de travaux, selon ses capacités et son expérience. S'il s'agit d'une étape d'amélioration peu compliquée, des instructions orales peuvent suffire. Par example, elles peuvent se limiter à "Placer 15 cm de gravier, sur une largeur de 4 m, de A à B". Un certain contrôle est cependant nécessaire, pour s'assurer que les normes établies sont bien respectées, et que le projet reste dans les limites du budget.

PROGRAMMATION DU TRAVAIL

Il faut compter un certain temps pour rassembler tous les matériaux, la main-d'oeuvre, les outils et le matériel nécessaires sur les lieux du projet; d'autre part, les livraisons doivent être programmées en tenant compte de la saison de la construction. Si le travail est ainsi programmé, on peut se servir à faveur du projet, de la saison des pluies, normalement si gênante et dévastatrice. Lorsque les remblais et le drainage sont placés correctement, la pluie peut réellement aider au tassement des remblais et à la compactation de la couche de surface.

Si le projet est réalisé sous contrat, les spécifications devraient indiquer, pour bien faire, que certains travaux doivent être exécutés à une certaine époque définie ou avant une date fixée. Il est également très important d'autoriser l'entrepreneur à commencer le travail à une date que lui permette de programmer correctement ses opérations.

Si le travail se fait en régie, le conducteur de travaux assume directement la responsabilité de cette programmation, qui sinon aurait été imposée à l'entrepreneur. Il est dès lors indispensable que le conducteur de travaux soit autorisé suffisamment tôt à élaborer son programme de travail, de façon à pouvoir commencer à la date prévue. Ceci devient particulièrement critique dans les régions où la saison des pluies est très intense.

CHAPITRE III

Conception d'un aménagement progressif

GENERALITES

Les remarques récapitulatives suivantes, qui ont été formulées au cours d'une importante conférence sur les routes à faible capacité, illustrent bien les facteurs qui interviennent dans leur conception.

> Des exposés et des débats, il apparaît que les ingénieurs doivent concevoir les routes à faible capacité selon des critères différents de ceux considérés pour la conception de routes à trafic dense. On a insisté sur le besoin de techniques pour concevoir les routes et ouvrages à faible capacité avec un minimum d'effort et certainement, dans la plupart des cas, en se basant sur de maigres informations . . .
>
> Au cours des sessions, l'idée d'une conception au moyen de techniques valables mais simplifiées, est constamment réapparue. Les considérations d'ordre économique et d'environnement imposent aux ingénieurs certaines contraintes dans le tracé. Le principe d'une conception selon les méthodes les plus sûres, sans considérations de coût, ne s'applique certainement pas aux routes à faible capacité. Comme l'a dit Mikado, il faut une conception qui s'adapte à la tâche. **(16)**

La question se pose de savoir s'il faut, ou non, surdimensionner dans certains cas certaines parties de la route, ou surconstruire pour éviter de devoir, plus tard, élever la catégorie de la route. On construit souvent en fonction du trafic prévu pour les 20 années suivantes, lorsqu'il existe des données sérieuses qui permettent d'évaluer les besoins futurs. Mais lorsqu'on ne peut pas prévoir avec certitude les améliorations nécessaires dans les 20 années à venir, un aménagement progressif semble être le meilleur investissement du capital disponible.

Parfois les fonds destinés à un certain projet ne sont plus disponibles plus tard pour dés améliorations, et peuvent dès lors s'utiliser pour surconstruire les éléments les plus critiques, tels que la largeur de la chaussée et les ouvrages de franchissement de ruisseaux. Si l'on prévoit des difficultés pour l'entretien, une fois le projet terminé, il est préférable de surconstruire initialement pour assurer un bon fonctionnement. Pour décider jusqu'à quel point surconstruire, on se basera tout autant sur des considérations d'ordre pratique que technique.

ETUDE DU TERRAIN

Tout comme pour le tracé, la nature et la quantité d'études nécessaires dépendent des conditions du terrain et de ce qu'il faut construire. Si la route occupe un nouvel emplacement ou suit un sentier ou une piste, le relevé conventionnel suit la direction générale du chemin. On mesure les distances et on établit des stations. On détermine la cote de chaque station, ainsi que des cotes intermédiaires si le terrain est irrégulier ou en pente. Une fois cette information reportée à l'échelle, on peut établir la déclivité du tracé en plan et de la ligne de centre.

S'il s'agit d'améliorer une route existante bien définie, il n'est pas toujours nécessaire de faire un relevé sur toute sa longueur. S'il ne faut réaliser que certaines corrections localisées de pentes, courbes ou drainage, seul un relevé de ces endroits peut suffire.

Le nombre de coupes en travers dépend de la nature du terrain. Un terrain accidenté et montagneux requiert en général plus de coupes, et sur une plus grande largeur, qu'un terrain plat où il y a peu de variations entre stations. Les

sections en travers doivent toujours s'étendre au-delà de l'intersection probable avec la pente du terrain naturel. Elles doivent se faire à intervalle régulier, et être suffisamment proches pour permettre un calcul assez précis des quantités. Des coupes additionnelles sont nécessaires pour tous les changements brusques du terrain. Aux intersections avec des cours d'eau, le profil doit s'étendre assez loin dans les deux directions, afin de proportionner les données nécessaires pour le drainage.

L'aménagement progressif d'une route existante dont l'alignement et la pente sont déjà établis, requiert moins d'études du terrain que le développement d'une nouvelle route.

PLANS LINEAIRES

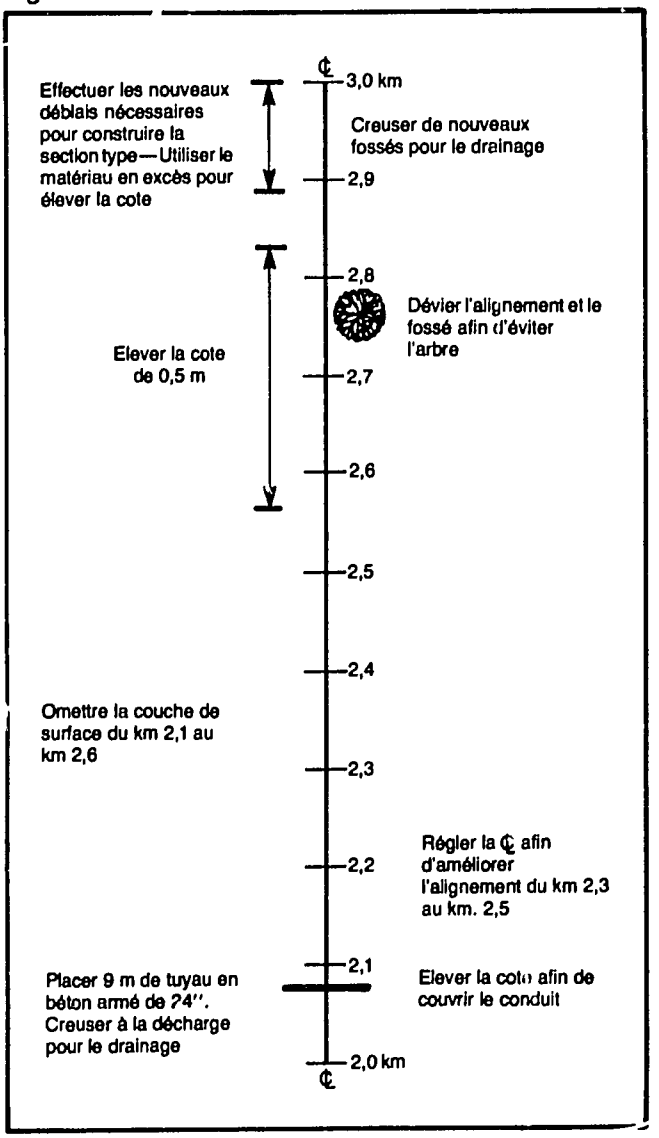
Ce genre de plans convient bien lorsqu'il s'agit d'aménager une route déjà établie. On les emploie lorsqu'aucun changement important de pente ni d'alignement n'est prévu, et lorsque la vitesse et le volume de circulation sont peu élevés. Le travail se limite généralement à l'excavation de fossés, à de légers changements de pente ou du drainage, ou au revêtement. Ils ne requièrent qu'un minimum d'étude et de calculs, et peuvent servir pour déterminer les quantités et construire le projet. Le plan peut être élaboré de la manière suivante.

Au lieu de mener une étude détaillée du terrain, l'ingénieur ou le constructeur parcourt la route à améliorer. Il note les distances indiquées par l'odomètre du véhicule à partir du point de départ. A des fins de contrôle, la distance peut être associée à des points facilement repérables au bord de la route. L'ingénieur prend note du travail à réaliser et de la lecture correspondante de l'odomètre, à un dixième près. Par exemple, s'il faut placer un ponceau ou allonger un ponceau existant, il inscrira la lecture de l'odomètre à cet endroit et le travail à réaliser. Il suit le même procédé lorsqu'il s'agit d'une modification de la pente, de légers changements de l'alignement, et d'excavations particulières de fossés. A partir de ces notes, il prépare un plan linéaire qui montre les lectures de l'odomètre et le travail correspondant à effectuer, mais sans indiquer l'alignement ni les cotes (Figure 2).

On utilise le plan, conjointement avec une section type. Le matériau extrait de l'excavation des fossés est déposé comme couche d'égalisation sur la chaussée, sans presque changer la déclivité. Si le plan demande un changement de pente plus important, on indique les limites des modifications et les variations de cote. Selon l'importance des modifications, il faudra parfois établir les cotes par une étude sur le terrain. Lorsqu'il se présente des problèmes particuliers, une étude technique plus approfondie peut être nécessaire.

Pour une amélioration progressive des routes existantes, cette méthode fournit l'information nécessaire à un coût minimum. Elle se prête à la construction avec emploi de main-d'oeuvre ou de matériel, et convient aussi bien pour un aménagement en régie que par des entrepreneurs privés. Il faut cependant noter que ce procédé requiert la présence d'un conducteur de travaux plus compétent que lorsqu'il existe un plan plus complet. Mais, comme les vitesses de base sont peu élevées, de légères modifications de pente ou l'affaiblissement d'un virage peuvent normalement se faire "à l'oeil", sans aucun problème. Au cours de la construction, il peut être nécessaire de recourir à des arpenteurs pour les travaux de plus de précision. Sinon, le conducteur de travaux réalise le travail avec, pour outils principaux, un niveau de poche, une règle, un crayon et un cordeau.

Figure 2. Plan linéaire.



NORMES DE CONSTRUCTION

Les normes appliquées aux routes à faible capacité devraient permettre des coûts de construction relativement peu élevés. Elles devraient procurer une route apte à recevoir un volume de trafic plus important grâce à un aménagement progressif, à moins que les conditions ne soient telles qu'une augmentation future du trafic soit peu probable. Elles doivent aussi considérer les problèmes de topographie et les besoins des usagers.

Les revêtements de gravier, les véhicules tirés par la force animale, et autres obstacles empêchent une circulation rapide sur ces routes. Pour ce genre de routes, la plupart des pays en voie de développement utilisent une vitesse de base de 60 km/h sur terrain plat, jusqu'à 30 km/h sur terrain montagneux. On considère ces valeurs adéquates pour des conditions d'opération limitées, bien que la plupart des routes permettent parfois, sur la plus grande partie de leur parcours, des vitesses de marche plus élevées.

Le Tableau 1 montre des normes de référence employées dans les pays en voie de développement, et peut servir de guide (5). Remarquons que ce guide s'applique aux phases finales de l'aménagement des routes de la Classe 1 et de la

Classe 2. Afin de réduire les coûts initiaux, il peut être plus opportun de construire selon des normes inférieures au cours des phases initiales de développement. Au fur et à mesure que le trafic augmente, on peut aménager les endroits de qualité inférieure aux normes standards, et amener ainsi toute la route au niveau de service désiré.

SECTIONS TYPES

Une section type a pour but d'exposer clairement au constructeur la forme, les dimensions et les parties constituantes de la route à construire.

Pour le dimensionnement des sections types, il faut considérer : (a) une largeur de la surface de roulement suffisante pour accommoder le nombre de véhicules, (b) suffisamment de résistance de la surface et des matériaux de base pour supporter la charge des roues, et (c) un drainage adéquat, afin d'éviter l'érosion ou le ramollissement de la surface de roulement ou du lit de la route, par une exposition prolongée à l'eau soit de surface soit souterraine.

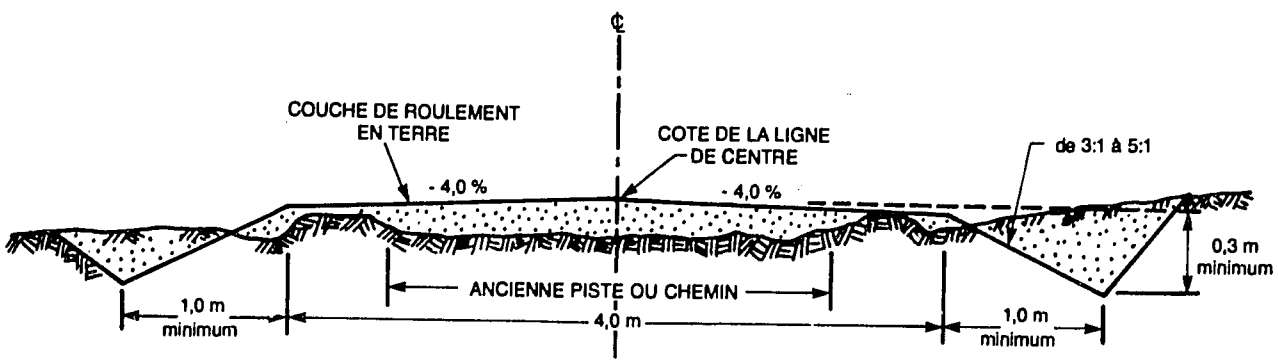
La largeur nécessaire de la surface de roulement dépend de la densité du trafic. Bien que les pratiques varient d'un pays en voie de développement à l'autre, on considère généralement qu'une surface de roulement de 4 m de large, à simple voie, convient pour un volume de 150 à 200 véhicules par jour, si on aménage des zones d'arrêt à intervalles fréquents (400 m maximum) (3). Des largeurs de 6 à 6.5 m sont courantes pour les routes à 2 voies de la Classe 2. La capacité portante de la surface dépend des caractéristiques du matériau de revêtement, de la quantité et de la nature du trafic, et de la mesure dans laquelle le sol de l'assiette de la route maintient sa stabilité lorsque sa teneur en eau varie. En fonction de ces facteurs, la section type doit spécifier le genre et la quantité de matériau à placer sur la surface. Le drainage s'obtient en bombant la surface de la route, et en construisant des fossés le long de la chaussée, pour permettre à l'eau de s'écouler de la surface et la transporter loin du lit de la route.

Les Figures 3 à 8 montrent des sections types employées couramment pour les routes de la Classe 1 et de la Classe 2, et indiquent comment on peut les appliquer au développement des routes en plusieurs phases, dans différentes conditions. Les schémas montrent des routes à simple voie, de 4 m de large, et sans accotements, et représentent ce que l'on considère généralement comme la largeur minimum fonctionnelle pour un volume de circulation très limité.

Certains recommandent un élargissement initial de l'assiette de la route, de façon à permettre un accotement de 0,5 m à 1 m de chaque côté. Ceci n'augmente le coût que relativement peu, apporte plus de stabilité aux bords de la route, et permet jusqu'à un certain point le croisement de véhicules. D'autres recommandent également, avec certaine raison, que les fossés soient placés dès le début à une distance telle qui l'on puisse plus tard aménager une surface de 5 m à 6 m avec accotements. Pour de faibles volumes de trafic, on peut d'abord aménager une surface de roulement de 4 m, qui pourra être élargie progressivement si nécessaire. Ce procédé augmente le coût initial de construction, mais procure la place pour le passage de deux véhicules et simplifie l'étape suivante d'aménagement d'une route à 2 voies. Il faut aussi considérer la possibilité de l'éventuel aménagement d'une seconde voie.

Les règles suivantes pour l'application des sections types au terrain, contribuent à une plus longue vie de la route et à réduire les besoins d'entretien.

Figure 3. Aménagement progressif d'une ancienne piste.



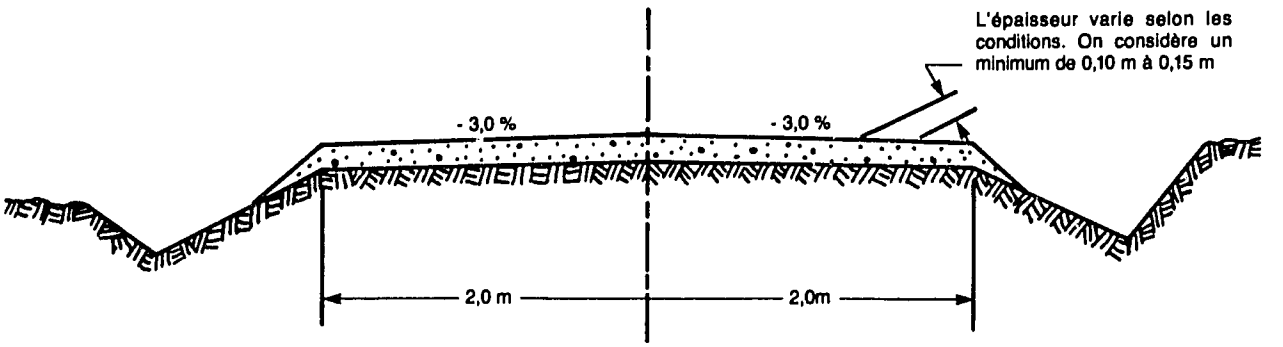
Conditions

- Terrain plat
- Route sur l'emplacement d'une ancienne piste
- Matériau des fossés utilisé pour former l'assiette de la chaussée
- Cote de la ligne de centre définie de façon à ce que le matériau extrait des fossés corresponde approximativement à la quantité de matériau nécessaire pour le remblai

Remarques

- Le matériau doit convenir à cet usage
- Le niveau phréatique ne doit pas être proche de la surface
- Requiert un minimum de déplacements de terre
- S'adapte aussi bien à la construction avec emploi intensif de main-d'oeuvre que de matériel
- Une cote peu élevée (en comparaison avec celle du terrain adjacent) rend le lit de la chaussée peu stable dans des conditions d'humidité et lorsque les fossés sont mal entretenus

Figure 4. Etape de construction d'une surface de roulement tous temps.

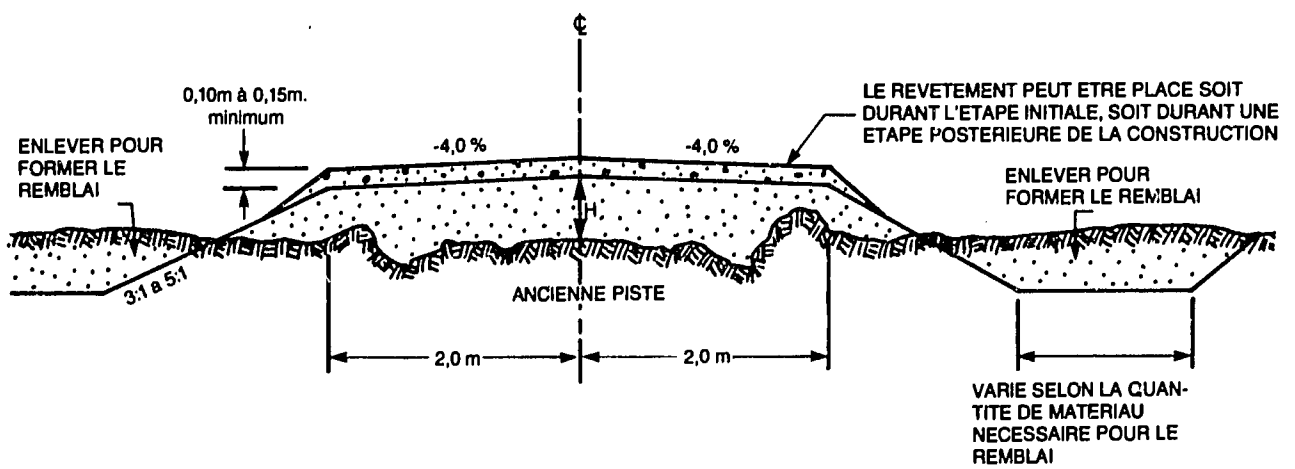


Remarques

- Certains pays ont pour politique de fournir une surface de roulement tous temps lors de l'étape initiale de construction. D'autres, afin de réduire le coût initial, aménagent une telle surface lors d'une étape postérieure de la construction.
- Si le sol original est de très bonne qualité, il peut procurer une surface de roulement tous temps. Cependant, il est souvent nécessaire de transporter un sol grenu ou des graviers sur le chantier.

1. Une cote plus haute que le terrain adjacent est désirable car elle conserve le lit de la route plus sec et donc plus résistant, ce qui prévient les ornières et déformations de la surface. Dans les régions arides, le sable entraîné par le vent s'accumulera plutôt sur le côté du remblai exposé au vent, que sur la route.
2. Une plus grande profondeur des fossés tend à diminuer la teneur en eau du lit de la route et fournit une capacité supérieure pour l'évacuation de l'eau. Ceci n'est pas toujours possible lorsque la route n'est pas en pente. Dans ce cas, il est bon d'élever la cote.
3. Une pente transversale de 3 % à 5 % est désirable. Une pente en travers de moins de 3 % tend à permettre la formation de flaques d'eau sur la surface de roulement; avec le passage des véhicules, ces flaques se transforment en nids de poule. Une pente supérieure à 5 % tend à provoquer le phénomène de tôle ondulée aux bords de la route. En général, une surface plus dense requiert une pente moins prononcée. Une pente de 3 % convient pour les revêtements bitumineux; 5 % est préférable pour des graviers détachés.
4. Dans les zones de déblai, les talus arrière doivent être

Figure 5. Section d'un remblai sur une ancienne piste.



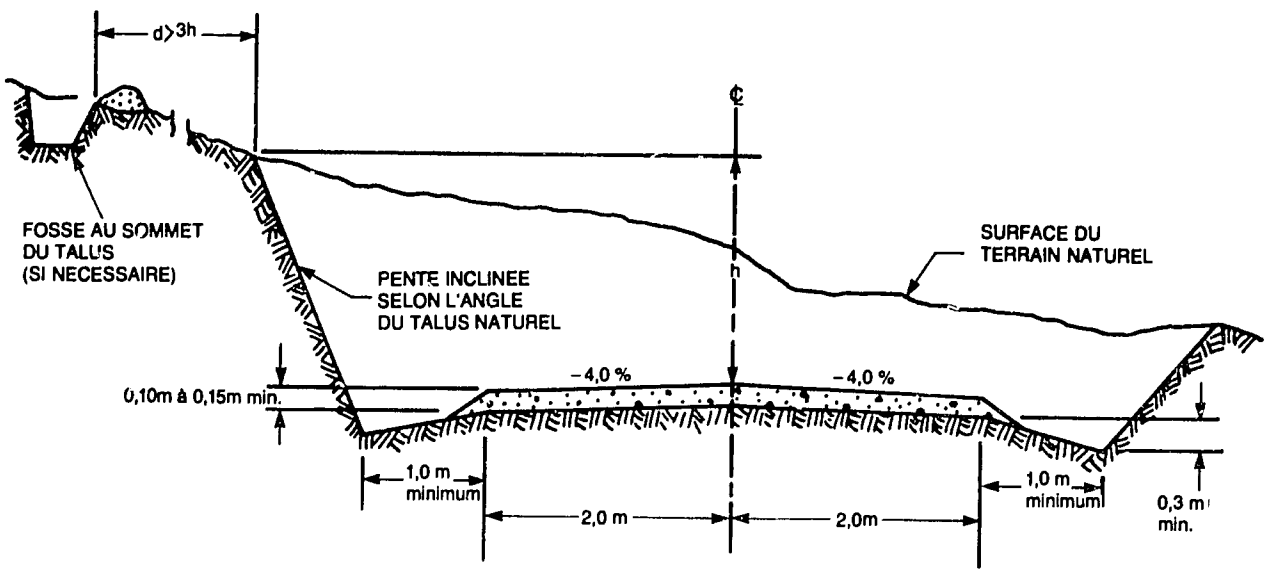
Conditions

- Route située sur l'emplacement d'une ancienne piste
- Terrain plat, avec un niveau phréatique élevé, ou sujet aux inondations.

Remarques

- Elever la cote de la ligne de centre afin que le lit de la chaussée reste plus sec
- Elargir les fossés afin d'obtenir du matériau de remblai et d'abaisser le niveau phréatique
- S'adapte aussi bien à la construction avec emploi intensif de main-d'oeuvre que de matériel
- La dimensin H varie en fonction du niveau d'inondation et de la qualité du sol de remblai
- Plus coûteux mais plus durable

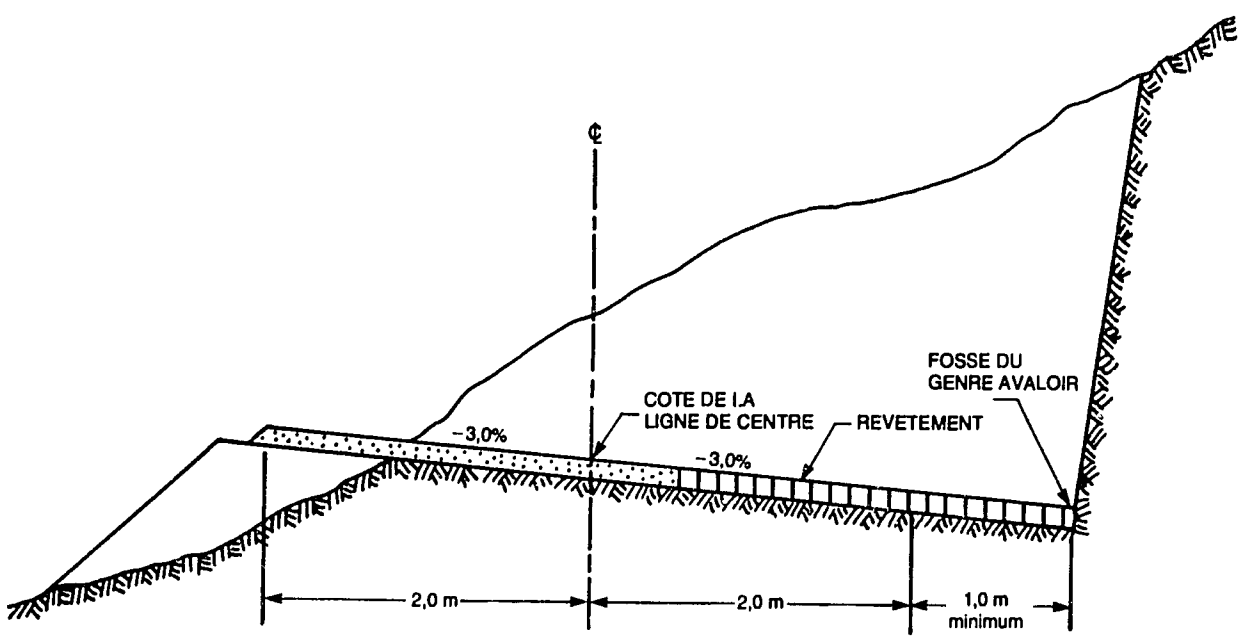
Figure 6. Coupe d'une section type.



Remarques

- Le revêtement est placé soit au cours de l'étape initiale, soit au cours d'une étape postérieure de la construction
- Moins adaptable à la construction avec emploi intensif de main-d'oeuvre, bien que cela dépende du volume

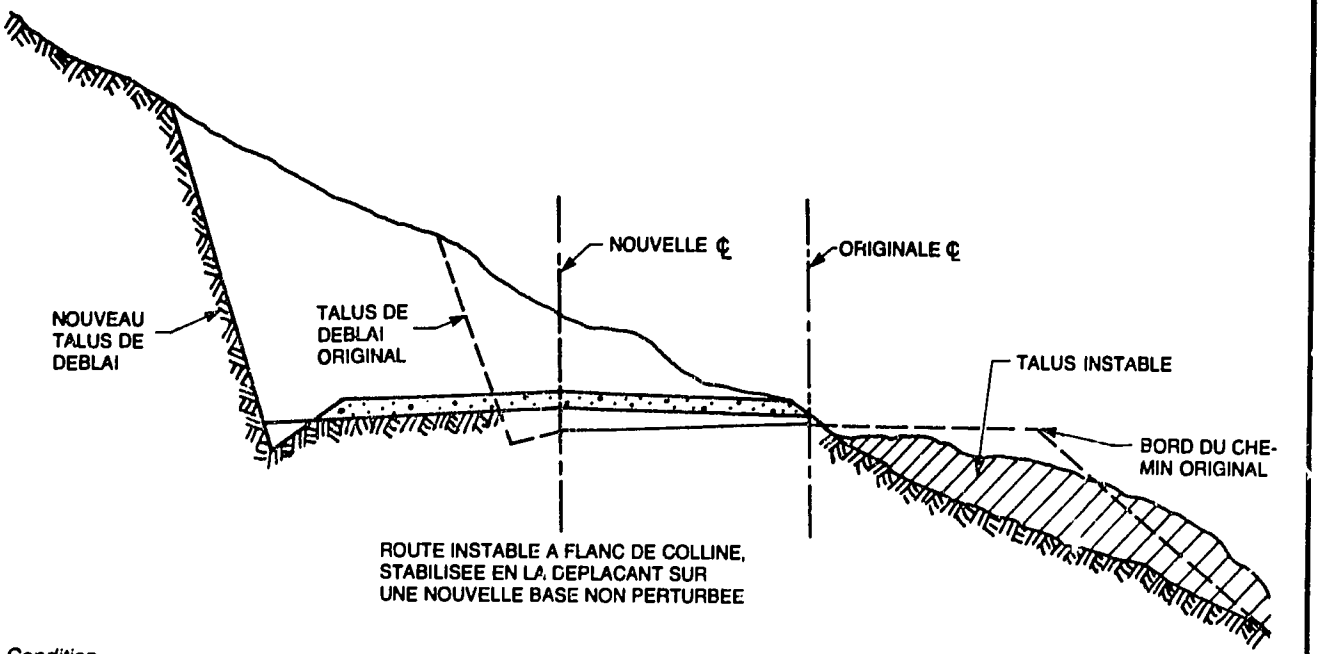
Figure 7. Fossé du genre avaloir, dans une courbe (virage relevé).



Remarques

- Peu de facilité de décharge du drainage
- Pour controller l'érosion, revêtir le fossé et la route sur la largeur nécessaire
- Incliner toute la largeur de la route vers le fossé
- A la section tangentielle, rompre la pente transversale à la ligne de centre ℄

Figure 8. Etape type d'aménagement en terrain montagneux.



Condition
- Route originale située en partie sur une base solide et en partie sur un remblai instable

Remarques
- En déplacant la route vers la montagne, on obtient une base solide
- On emploie le même procédé pour affaiblir les courbes

creusés aussi près que possible de leur angle de repos. En général, on peut déterminer ce dernier en observant les pentes naturelles environnantes. Une pente plus faible requiert des excavations inutiles, et n'est pas nécessairement plus stable. Une pente trop prononcée s'érode rapidement. L'érosion donne lieu à des dépôts qui obstruent le drainage et requièrent un entretien excessif. Les fortes pentes, lorsqu'elles sont mouillées, causent aussi plus souvent des glissements de terrain ou des accumulations de matériau.

5. Dans l'aménagement progressif, lors de l'application de la section type, il faut profiter des routes ou chemins existants. Par exemple, une route affaissée peut servir de fossé de drainage à un côté de la nouvelle route (Figure 9). Une chaussée existante compactée peut servir de base à la nouvelle route, si toutefois cela ne sacrifie pas un bon drainage.
6. On préfère l'élargissement à un seul côté de l'accotement d'une route existante. La consolidation du nouveau matériau se limite alors à un seul cordon de matériau. Les raccordements de ponceaux sont également réduits (Figure 10).

DRAINAGE

Un drainage négligé a entrainé la ruine de nombreuses routes économiques. On pourrait transformer de nombreuses

Figure 9. Ancienne piste servant de fossé de drainage.

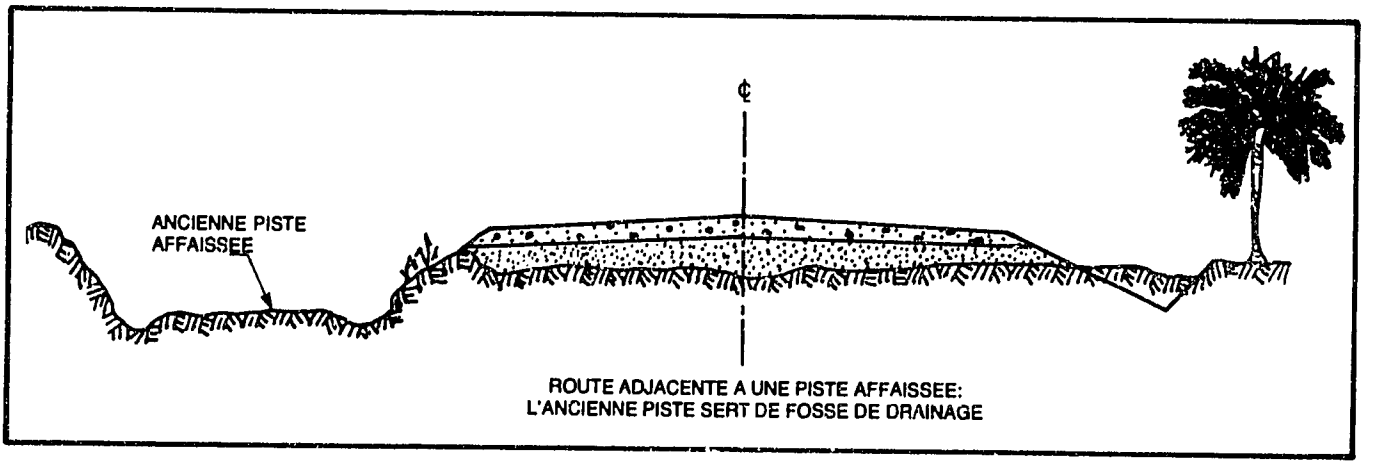
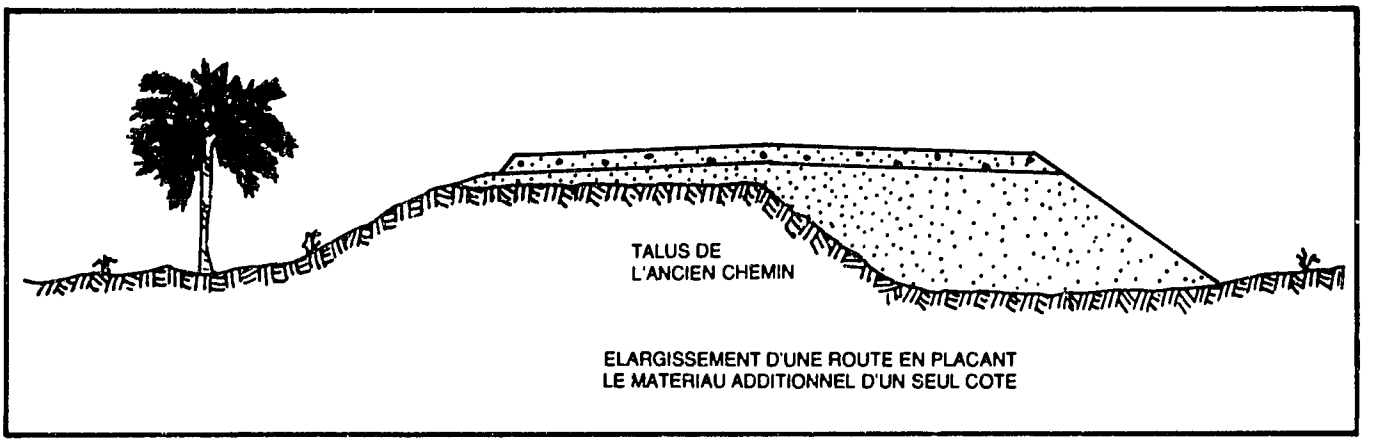


Figure 10. Ampliation d'un côté d'un chemin existant.



mauvaises routes en bonnes routes, en améliorant simplement leur drainage. Un bon drainage commence par un bombement ou pente transversale suffisante (3% à 5%) de la surface, qui permette un écoulement rapide sans affouillement ni érosion du matériau de revêtement.

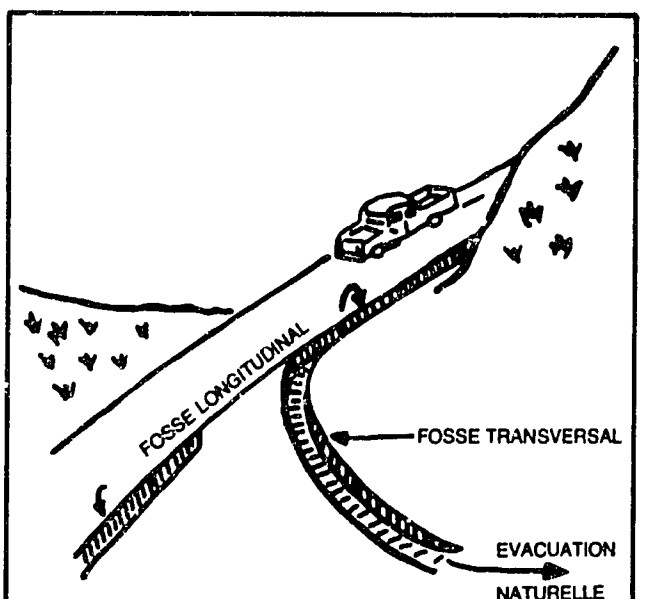
De la surface, l'eau s'écoule vers les fossés ou au-delà des accotements, et loin de la route. La pente des fossés doit permettre un ruissellement uniforme et empêcher que la route ne s'imprègne d'humidité et ne perde de sa résistance. Ils se déverseront, chaque fois que l'occasion s'en présente, aux points les plus bas du terrain, éloignant ainsi l'eau bas côtés de la route (Figure 11). Il faut empêcher l'eau de s'accumuler aux abords de la route.

Dans le cas de longs tronçons de route très en pente, il arrive que l'eau déborde des fossés sur la surface de la chaussée et s'écoule le long des flâches causées par les roues des véhicules. Il se forme alors souvent de grandes ornières qui rendent la route impraticable. Il existe plusieurs manières de remédier à ce problème :

1. Revêtir de pierres le tronçon abîmé;
2. Installer plus de ponceaux transversaux qui interceptent les fossés;
3. Construire des rigoles ou des dos d'âne diagonalement en travers de la route, pour dévier l'eau vers les fossés. Ces dispositifs auront une pente douce, de façon à ne pas gêner la circulation;
4. Procurer des fossés plus grands;
5. Construire d'étroits caniveaux en travers de la route, qui captent l'eau et l'évacuent. La couverture des caniveaux doit être suffisamment solide pour supporter le trafic, mais assez ouverte pour capter l'eau sans être obstruée par des débris de surface. Les rigoles recouvertes présenient les avantages d'une construction simple et d'un entretien aisé.

Sur les nouvelles routes, on évite ce genre de problèmes en ajustant l'alignement vertical de façon à permettre un écoulement plus fréquent de l'eau accumulée, ou en procurant des fossés de capacité supérieure au moyen de fossés revêtus, genre avaloirs, comme celui de la section type de la Figure 7.

Figure 11. Fossé transversal.



Remarque

- **Afin d'évacuer l'eau des fossés longitudinaux, on construit souvent des fossés transversaux qui dévient l'eau transportée par les fossés longitudinaux.**

Les fossés peuvent adopter diverses formes. Le plus commun est celui en V, mais on peut utiliser une forme trapézoïdale pour plus de capacité. Un fossé à fond plat (Figure 5) fournit une source toute prête de matériau d'emprunt pour la construction de l'assiette de la chaussée. Le comportement des différents sols vis-à-vis de l'érosion peut indiquer l'emploi d'une forme plutôt que d'une autre (9).

Les méthodes employées pour l'entretien des fossés doivent être connues lors de leur conception. Certains fossés se prêtent aussi bien à l'entretien avec emploi de main-d'oeuvre que mécanisé, mais ce n'est pas le cas pour tous. L'entretien d'un fossé en V peut être manuel ou mécanisé.

Afin d'éviter de trop longs fossés, on installe un dispositif de drainage chaque fois que l'eau peut être déversée. Si la quantité d'eau est trop importante pour le fossé standard de la section type, il faut l'élargir. Cette méthode est limitée par son coût, comparé au coût du drainage transversal. En effet, il est en général moins onéreux de construire un dispositif transversal que d'allonger les fossés.

Lorsque leur pente est trop prononcée, les fossés risquent d'être attaqués par l'érosion. Celle-ci varie avec la vitesse de l'eau et le type de matériau (13). Lorsqu'il s'agit d'un matériau

peu résistant à l'érosion, il doit être protégé. L'herbe ou une couverture végétale fournissent la protection la plus économique. Engazonner d'herbe du pays, à croissance rapide, est généralement très efficace. Il faut éviter la végétation lourde, du genre plantes grimpantes, car elle risque d'obstruer le fossé et d'empêcher l'écoulement. Lorsque la végétation ne convient pas, on peut revêtir de pierres assemblées avec du mortier. Si on ne dispose pas de pierres, on utilise un revêtement de béton ou de ciment sur le sol stabilisé.

Le Tableau 2 indique la pente critique à laquelle l'érosion a lieu, pour divers types de matériaux. Ce tableau peut servir de guide pour déterminer quand il faut protéger contre l'érosion, mais l'observation des conditions sur le terrain donne une information bien plus exacte, surtout lorsqu'il s'agit d'une phase plus avancée de l'aménagement. Si on remarque une érosion ou un affouillement évident, il faut prendre les mesures nécessaires pour éviter que ce problème ne se représente après la nouvelle construction.

Partout où cela est possible, on construira les fossés sans changements brusques de direction. Les fossés sont particulièrement exposés à l'érosion à l'extrémité de longs déblais, où ils se déversent dans un cours d'eau naturel. Il est parfois nécessaire de revêtir ces points de décharge, afin de protéger les terrassements contigus. Si trop d'eau coule du coteau sur la route, on peut la dévier en construisant une berme ou un contre-fossé (Figure 6). La pente du fossé sera aussi faible que possible, et sa direction changera le moins possible. S'il est peu pratique de construire une pente faible, il faudra alors revêtir le fossé et disperser la force de l'eau au moyen de blocs de détournement ou de barrages de contrôle. Dans le cas d'un terrain stratifié et incliné vers la route, un contre-fossé contribue aisément à un glissement de terrain, aussi ne se construit-il qu'après une investigation approfondie.

REVETEMENTS

Le revêtement le moins onéreux pour les routes à faible capacité est celui en terre naturelle profilée. Ce genre de revêtement convient plus ou moins, selon les caractéristiques du sol en cause. La plupart des sols ne procurent une bonne surface que lorsqu'ils sont secs ou légèrement humides, bien que secs ils peuvent aussi être très pulvérulents. En période de pluies, tous les sols sauf les sables et les graviers deviennent impraticables. Les surfaces en terre peuvent être améliorées par un bon drainage. On les considère acceptables pour les routes de la Classe 1, lorsqu'elles sont nivelées et drainées. Par la suite, on peut les améliorer et obtenir une surface tous temps par l'addition de matériaux plus résistants à l'eau. Cette opération peut avoir lieu soit durant la construction initiale, soit au cours d'une étape d'amélioration d'une route existante.

La pratique la plus courante pour obtenir une route tous temps, consiste à la recouvrir d'une certaine épaisseur de graviers ou de matériaux grenus. On trouve souvent des matériaux adéquats dans le lit des ruisseaux, les bassins de crue, et autres dépôts naturels (**6,11**). Le matériau doit contenir un sol liant à grains fins, par exemple du limon ou de l'argile, en quantité suffisante pour agglomérer le matériau de la surface de roulement, une fois celle-ci compactée. Trop peu de liant donne une surface sans cohésion, tandis qu'un excès de liant provoque un ramollissement de la surface lorsqu'elle est mouillée. Pour obtenir une bonne surface de roulement, la dimension maximum des pierres contenues dans le matériau ne dépassera pas 20 mm (3/4 de pouce). L'épaisseur de revêtement nécessaire pour une surface tous temps varie en fonction de la qualité du matériau et des charges de circulation. Sur les routes à faible capacité, une épaisseur de 10 à 20 cm est courante.

Tableau 2. Erosion des fossés.

Type de Matériau	Pente Critique (%)
Sableux	1-3
Argile	2-5
Gravier fin	4-6
Schiste mou	5 et plus

Si on ne peut trouver un matériau qui réponde à ces conditions, il est possible d'obtenir des résultats satisfaisants en mélangeant des matériaux provenant de deux ou plusieurs endroits différents. On peut trouver du gravier ou du sable sans liant à un endroit, et un matériau liant autre part. On les amène alors sur le chantier et ils sont mélangés sur la chaussée, dans les proportions voulues. Il faut être sûr que le matériau liant choisi se mélange bien dans les conditions normales de travail. Lorsque les matériaux granuleux ou de revêtement nécessaires sont introuvables, on mélange parfois le sol in-situ avec de la chaux, du ciment ou du bitume pour obtenir la stabilité désirée (**12**).

On applique souvent une couche imperméabilisante de bitume lorsque le volume de circulation atteint un TJM de 140 à 170 véhicules, bien que le volume pour lequel son application se justifie dépend des conditions locales. Parfois, on applique une couche imperméabilisante sur des routes qui reçoivent peu de trafic, parce qu'on évite ainsi de devoir remplacer et reprofiler périodiquement les matériaux de revêtement. Elle empêche aussi l'écharnure des sols stabilisés, réduit le coût d'entretien des véhicules, et élimine la poussière. L'imperméabilisation peut consister en une seule couche de bitume pour fermer la surface à l'eau et contrôler la poussière. Mais, souvent on applique une ou plusieurs couches de bitume et de pierres concassées afin d'obtenir une surface de roulement plus résistante et plus durable. Il ne faut pas croire qu'une couche d'imperméabilisation écarte toute nécessité d'entretien; il faudra, en effet, réparer les zones détériorées de cette surface. Après quelques années, selon le volume du trafic et les conditions locales, il peut être nécessaire de revêtir complètement la chaussée.

PONCEAUX

Dans cette synthèse le terme "ponceau" s'applique à de petits ouvrages de drainage, à travers lesquels l'eau passe sous la route, d'un côté à l'autre. Il désigne les passages de buse de dimensions courantes ou leurs équivalents.

Contrairement à d'autres parties de la route, qui peuvent être améliorées au cours d'un aménagement par étapes, les dimensions d'un ponceau sont définitives. La première

phase d'aménagement de la route consiste à les calculer et à installer le ponceau correctement. Lors du dimensionnement, il faut tenir compte des changements futurs quant à l'utilisation du terrain, qui pourraient affecter le ruissellement. On trouve dans la littérature plusieurs méthodes pour déterminer les dimensions des ponceaux, mais aucune méthode supérieure aux autres n'a été découverte.

Bien qu'il ne soit pas toujours très pratique de réaliser une étude complète du drainage pour les routes à faible capacité, il faut cependant tâcher de déterminer, pour les ponceaux,des dimensions à la fois adéquates et économiques. L'observation sur le terrain des endroits où les ponceaux seront placés, fournit des informations utiles. La largeur et la profondeur du cours d'eau, l'érosion, ou les traces de crues sont de bonnes indications pour décider des dimensions nécessaires. Lorsqu'il s'agit d'améliorer une route déjà existante, les conditions aux alentours des ponceaux en place peuvent indiquer si leur dimension est correcte.

Les ponceaux sont généralement nécessaires aux points or les plus bas du terrain, là où la route bloque le passage de l'eau, sauf si l'on décide délibérémment d'installer un passage à gué ou une rigole, ou lorsque les petits ruisseaux sont captés ou déviés par des fossés qui transportent l'eau jusqu'au passage suivant. Ce dernier procédé n'est applicable que si les fossés peuvent contenir le flot d'eau et si la distance à parcourir est assez courte. En général, il est moins onéreux d'installer des ponceaux à intervalles plus courts que d'allonger et élargir les fossés (Figure 12) **(17)**.

Les points les plus bas peuvent être localisés sur les plans du projet qui indiquent l'élévation et le profil de l'alignement. Tous les signes de courant qui traverse la route doivent être soigneusement vérifiés sur le terrain, afin de déterminer les besoins réels de drainage.

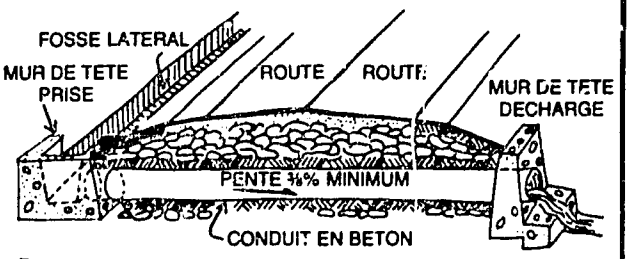
MATERIAU DES PONCEAUX

Dans les régions où le bois est abondant, s'il n'y a ni termites ni fourmis blanches, on peut construire des ponceaux au moyen de rondins ou de bois taillé à la hache. Au cours d'une phase ultérieure, on peut remplacer les ponceaux en bois par une construction plus permanente. Des constructions provisoires de ce genre ne doivent être envisagées que lorsqu'il y a peu de remblai; enlever et replacer une quantité importante de remblai serait, en effet, anti-économique.

On emploie souvent la pierre locale pour la construction de ponceaux, lorsque la fondation est bonne et que le niveau de la route est suffisamment haut pour permettre la répartition des charges des roues. Les ponceaux en pierre se construisent en général avec un fond traité, des parois verticales et une voûte en arc retiligne. Lorsque le ponceau est étroit, on peut remplacer la voûte en arc rectiligne par des plaques en béton armé préfabriquées Ces plaques peuvent servir de surface de roulement. Elles requièrent un remblai moins haut sur le ponceau et peuvent être coulées sur place à la mesure désirée. Les deux types de ponceaux décrits ci-dessus utilisent au maximum la main-d'oeuvre et les matériaux locaux.

Lorsqu'il n'existe pas de matériau local disponible, on emploie soit des tuyaux en béton, soit des buses en métal ondulé. On peut les installer comme ponceau simple, en une rangée, ou en série lorsqu'un seul conduit ne suffit pas. Les tuyaux en béton peuvent être fabriqués in situ, ou à un endroit central d'ou ils sont transportés jusqu'au lieu de travail. Les conditions tant économiques que de coulage doivent être

Figure 12. Conduits transversaux.



Remarque

- Des conduits transversaux doivent être installés à intervalle régulier, afin d'évacuer l'eau qui coule dans les fossés (généralement les fossés latéraux ne suffisent pas); l'amenée et la décharge des conduits doivent être protégées contre l'érosion par un mur de tête ou par un perré; sous certaines conditions, au lieu de construire un mur de tête, on peut amener le conduit jusqu'au pied du talus.

étudiées attentivement avant de decider quelle méthode employer. Les buses de métal ondulé sont souvent importées, mais elles présentent l'avantage d'être relativement légères et de pouvoir être transportées plus facilement jusq'au chantier. On peut les installer sur des foundations moins stables que pour les tuyaux en béton, et les manoeuvres locaux peuvent les assembler directement.

On allongera les ponceaux existants avec un matériau similaire de la même dimension, et sans changement de la pente d'écoulement. Le raccordement de ponceaux de dimensions différentes peut causer certaine turbulence ou un changement de vitesse de l'eau au jointoiement. Toute réduction de la pente entraînera une accumulation de sédiments ou de débris.

Les ponceaux rétrécissent généralement l'aire du débit d'eau et augmentent sa vitesse, ce qui cause plus d'érosion à l'extrémité de décharge. Souvent, l'érosion et l'affouillement à ces endroits endommagent le remblai de la route, le ponceau même et le caniveau en aval. Pour éviter l'affouillement, il faut dissiper l'énergie du débit à grande vitesse au point de rejet, ce qui peut se faire en plaçant un perré de protection. Si on ne peut obtenir les pierres, on peut les remplacer par du solciment ensaché.

FRANCHISSEMENT DE COURS D'EAU

Sur les routes à faible capacité, on franchit souvent le lit asséché des ruisseaux à faible débit, par des passages à gué, revêtus ou non, ou par des radiers. Ce genre de franchissements est en général utilisé comme première phase dans l'aménagement progressif d'une route, afin de réduire le coût initial. Lorsqu'une augmentation du trafic ou les retards dus aux crues le justifient, on peut améliorer l'ouvrage de franchissement original en construisant des ponts ou des ponceaux.

Dans la pratique, on utilise les passages originaux pendant longtemps. L'ingénieur doit donc les concevoir et les construire pour une longue durée de service, afin qu'ils ne soient pas détruits lors de fortes pluies.

Le passage le plus simple se présente lorsqu'un ruisseau au fond solide sert de chaussée. L'accès doit se faire en

pente douce, qui n'excède pas 5% ou 6%, et être revêtu de graviers ou autres matériaux grenus résistants à l'eau apportée par le trafic.

On peut souvent rendre franchissables les ruisseaux à fond moins ferme, en recouvrant le lit de pierres, afin d'obtenir une base solide avec une surface de roulement relativement lisse. Le ruisseau aura tendance à déposer des sédiments du côté amont et d'éroder les matériaux situés en aval. Il est recommandable d'élargir le gué du côté aval afin de réduire l'érosion de la zone de passage. Les gués doivent suivre, autant que possible, le lit du ruisseau, de façon à ne pas altérer le cours naturel du courant.

Des franchissements traités sont construits sur de plus grands ruisseaux ou sur les ruisseaux plus profonds à courant rapide. On empile des pierres environ jusqu'à la hauteur du niveau d'eau normal. On coule du béton sur le dessus et sur les bords en talus, pour obtenir un franchissement traité, tout en perturbant le courant d'eau le moins possible. Dans le lit des ruisseaux susceptibles d'érosion, il faut construire des parafouilles. On placera également des pierres du côté aval, afin de dissiper la force du courant d'eau qui passe sur l'ouvrage.

La pente transversale d'un gué traité ne doit pas être bombée, mais bien inclinée vers l'aval. Le gué doit être à une hauteur telle qu'il permette le passage d'un filet d'eau sur sa surface, sur presque toute la largeur du ruisseau, lorsque l'eau est à son niveau normal.

Pour les ruisseaux à débit permanent ou pour les rivières peu profondes, un franchissement plus pratique, mais aussi plus coûteux, est celui fourni par le gué en ponceau, conçu pour laisser passer la totalité du débit normal à travers une ou plusieus rangées de buses. Les ponceaux sont recourverts d'une surface traitée. Lorsque le niveau d'eau dépasse le dessus des ponceaux, elle passe sur la route sans dommages **(8)**.

Pour tous ces ouvrages de franchissement, il est essentiel d'avoir un accès en pente douce, et de prendre les mesures nécessaires afin de réduire l'érosion au minimum. Afin d'aider les usagers lors des crues, il faut placer des balises qui indiquent les bords du passage. On placera également une balise au point le plus bas de la surface de l'ouvrage, pour indiquer la profondeur de l'eau.

PONTS

Les ponts et les ponceaux remplacent souvent les passages à gué au cours de la seconde phase de l'aménagement progressif des routes à faible capacité. Le nouvel ouvrage est généralement construit parce que le trafic a augmenté suffisamment pour justifier la suppression des retards dus aux crues, ou parce que les courants de crues sont si violents qu'il est impossible de conserver les autres passages. Les ponts peuvent également être élargis et renforcés pour répondre aux besoins grandissants.

Le pont se construira généralement à l'emplacement d'un passage existant, ou près de celui-ci. Cependant, il est important de choisir le meilleur emplacement possible, en tenant compte des facteurs suivants :

1. La ligne de centre longitudinale du pont doit être perpendiculaire à la direction du courant de la rivière.
2. Le point le plus bas de la portée du pont doit être situé plus haut que le niveau de crue connu.
3. Les piles et culées ne doivent pas entraver ni gêner le courant du ruisseau. Si ceci ne peut être évité, il faut fournir une protection contre l'affouillement et l'accumulation de débris.
4. Les fondations doivent s'appuyer sur une base solide, de préférence hors d'atteinte des eaux de crue. Si le pont est construit sur piles, celles-ci doivent être enfoncées au-delà de la profondeur affouillable et protégées contre l'accumulation de débris.
5. Si la voie d'accès au pont traverse une plaine d'inondation et requiert un remblai, il faut construire une rigole dans le profil du remblai jusqu'à un niveau inférieur à celui de la base des poutres du pont. Ceci permettra au trop-plein de se déverser lorsque l'eau des crues approche le niveau du tablier du pont. Si le remblai est emporté par l'eau, il peut être remplacé plus rapidement et à un coût moins élevé que le pont. Pour réduire au minimum les chances de destruction de la rigole, on peut la traiter; on peut également traiter le remblai ou le revêtir d'un perré du côté aval **(13)**.

Les matériaux les moins coûteux dans un projet de construction sont généralement ceux qui peuvent être obtenus localement. Lorsqu'il y a du bois et pas de fourmis blanches, les ponts en bois à courte portée sont économiques et peuvent servir pendant de nombreuses années. Ils peuvent être construits assez facilement par la main-d'oeuvre locale. Le bois doit recevoir un traitement de protection pour éviter qu'il ne pourrisse. Pour que le pont résiste plus longtemps, on peut construire les empattements, les culées et les piles en pierre, et n'employer le bois que pour les poutres et le tablier. Il s'est avéré que la superstructure en bois des ponts couverts pourrissait moins. Lorsque l'on emploie du bois pour le tablier, il faut placer un platelage de madriers en brandes continues, pour le protéger et le préserver. Des arcs en pierre, ou des piles en pierre et des culées avec des poutres en acier ou en béton sont plus durables, mais ils sont aussi plus onéreux et doivent être installés par des ouvriers plus qualifiés. Parfois, pour des raisons économiques ou d'emplacement, un ouvrage en béton armé peut être préférable. Une étude technique et un personnel spécialisé sont alors nécessaires pour la construction. Ces ouvrages sont souvent trop coûteux pour les premières phases de la construction d'une route à faible capacité, mais on les construit souvent au cours d'étapes ultérieures, pour remplacer les gués avec ou sans revêtement.

L'élargissement des ponts existants est délicat. Il entraîne l'application de charges additionnelles, qui doivent être supportées par la charpente inférieure et par les fondations. Après une bonne inspection de l'ouvrage, on détermine s'il est nécessaire de renforcer les supports, ou d'en ajouter, avant d'entreprendre l'élargissement. Il est souvent plus pratique de construire un second pont, adjacent au premier ou de remplacer le pont original par un nouveau pont de la largeur désirée.

Dans certains cas, il s'est avéré plus économique d'installer des ponceaux en arc de tôle ondulée, que de construire de petits ponts. Ces tôles courbes préfabriquées sont conçues pour être assemblées sur le chantier. Elles sont facilement transportables et les manoeuvres locaux peuvent les assembler sur place avec des boulons. Elles présentent cependant certains inconvénients : il faut les commander longtemps à l'avance, et elles doivent être également fixées par des boulons à un empattement en béton. Elles convien-

nent en général mieux pour des caniveaux plus profonds, ou lorsque le remblai est relativement haut.

EROSION

L'érosion est une des principales causes de la détérioration des routes, surtout des routes de construction récente. Elle se manifeste souvent sur les routes à faible capacité, lorsque les terrassements ne se sont pas encore stabilisés; elle peut être due à un tracé et une construction à bon marché, dictés par la situation économique, ou à l'action des forces de la nature, qui a été sous-estimée par le professionnel responsable du dimensionnement ou par le constructeur.

Afin de prendre les mesures de contrôle nécessaires lors de la localisation, du dimensionnement et de la construction de l'ouvrage, il faut bien comprendre le processus d'érosion.

L'érosion du sol est due aux pluies, qui déplacent les particules de sol des endroits mal protégés. L'eau s'écoulant sur le terrain entraîne certaines particules de sol. La rapidité à laquelle le terrain se détériore est fonction de l'intensité et de la durée des pluies, du volume d'eau de ruissellement, et des caractéristiques des particules de sol.

Dans certains endroits, le vent est cause de l'érosion. Les sédiments emportés par l'eau ou par le vent se déposent lorsque la vitesse de ces derniers diminue et que leur capacité de transport devient insuffisante pour déplacer tout ce poids de sédiments.

Là où le terrain a été modifié par les constructions de l'homme, on observe parfois une soudaine augmentation de l'érosion. Lors de la construction d'une route, et après l'avoir terminée, il faut prendre certaines mesures pour contrôler cette érosion accélérée.

Les causes de l'érosion suggèrent certains principes de base à appliquer pour contrôler l'érosion et le dépôt de sédiments (7). La liste suivante énumère certains des principes les plus importants, à appliquer lors de la construction ou de l'amélioration des routes à faible capacité :

1. Construire des talus compatibles avec les limitations du sol;
2. Réduire la surface exposée de sol non protégé;
3. Réduire la durée d'érosion du sol non protégé, surtout durant les saisons pluvieuses;
4. Protéger le terrain au moyen d'une couverture végétale, de paillis ou d'un matériau résistant à l'érosion;
5. Empêcher l'accumulation de l'eau de ruissellement;
6. Retarder l'écoulement au moyen d'ouvrages;
7. Bloquer les sédiments au moyen de barrières temporaires ou permanentes, de bassins ou autres procédés.

Lorsque c'est possible, le franchissement d'un ruisseau doit se faire sur une partie droite et stable du cours d'eau, de façon à éviter les méandres dont le lit est assez changeant. L'alignement et la pente doivent, tout en restant compatibles avec les autres conditions requises, se confondre et s'adapter au paysage naturel afin de réduire au minimum les mouvements de terre, ainsi que l'érosion et le coût de l'entretien. On placera les ponceaux de façon à devoir changer le moins possible la voie d'eau. Celle-ci, ainsi que le point de rejet des ponceaux, doit être protégée contre l'érosion. Habituellement, un perré offre une protection suffisante.

L'eau souterraine est une cause fréquente de glissements de terrain et autres perturbations, et s'ajoute au problème de l'érosion lorsque l'eau de surface s'écoule à ces endroits. On peut parfois capter l'eau souterraine dans des tranchées remblayées de gravier et de sable, afin de réduire l'instabilité et les possibilités d'érosion.

On peut construire de petits barrages dans le cours d'eau, pour former des réservoirs ou des bassins qui retiennent l'eau et les sédiments provenant de l'érosion. Ils seront provisoires ou permanents, selon les besoins.

Les opérations de nivellement doivent être exécutées de telle façon que l'aire de sol non protégée soit minimum. Il faut conserver l'aire de travail toujours bien drainée, et éviter l'accumulation d'eau.

Dans la plupart des climats tropicaux ou subtropicaux, et dans les régions où les pluies sont abondantes, la croissance de l'herbe naturelle en une saison protégera les remblais contre l'érosion. S'il faut plus de protection, on plante souvent des plantes grimpantes du pays. Elles doivent être plantées assez près l'une de l'autre, afin de recouvrir tout le remblai en une saison.

On peut remédier au problème du sable éolien recouvrant et obstruant la chaussée, en installant des brise-vent du côté de la route exposé au vent. Une diminution de la vitesse du vent l'oblige à déposer sa charge. Il faut prendre soin d'installer les brise-vent assez loin pour éviter que le sable ne se dépose sur la chaussée et assez près pour qu'ils produisent leur effet. Ils sont généralement efficaces à une distance équivalent de 10 à 15 fois leur hauteur.

Tout ce qui permet de réduire la force du vent peut servir de brise-vent, comme par exemple des barrières en planches, des arbres, des buissons ou d'autres matériaux qui peuvent être fixés sur place.

CONSIDERATIONS ECOLOGIQUES

Bien que la construction ou l'amélioration des routes à faible capacité n'ait guère d'effet nocif sur l'environnement, l'ingénieur des routes doit cependant suivre quelques règles générales afin de perturber la région le moins possible.

L'érosin et la sédimentation qui en résulte sont les deux formes les plus évidentes de dommage a l'environnement. Ce dommage peut être réduit à un minimum grâce à de bonnes pratiques de construction, telles que l'élimination des matériaux de rebut sans affecter le bassin versant, et le contrôle de l'écoulement comme décrit antérieurement. Il est important de garder à l'esprit le fait que les dommages peuvent s'étendre bien au-delà de ce qui est directement visible. Un ruisseau qui charrie des sédiments, par exemple, peut nuire à tous ceux dont la vie quotidienne en dépend.

Il faut éviter autant que possible les objets ayant une signification locale historique, religieuse ou culturelle. Il est même parfois recommandé de modifier un bon alignement afin de préserver les cimetières, tombeaux, ou arbres particuliers ayant une importance locale. Les sources d'eau potable et les endroits pour les lessives et les baignades doivent être perturbés le moins possible. En fait, il est souvent possible d'y apporter des améliorations ou de les rendre plus accessibles à peu de frais.

La construction ne doit laisse aucun dommage permanent. On nivelera les chantiers d'excavation et les parties de terrain dénudées, de façon à ce qu'ils s'intègrent au terrain adjacent, et on favorisera la croissance de la végétation.

SPECIFICATIONS

La plupart des pays ont des réglements spéciaux pour la construction des routes principales. Ces réglements stipulent

généralement une qualité de construction supérieure à celle nécessaire pour les routes à faible capacité, et, suivis trop à la lettre, ils tendent à augmenter le coût des routes à faible capacité au-delà des avantages qui en découlent. Il est souhaitable de suivre des spécifications dirigées à la construction des routes à faible capacité.

S'il s'agit d'un travail en régie, il est probable qu'il existe un guide publié par le gouvernement pour le contrôle et la surveillance de la construction, spécialement lorsqu'on applique un programme de construction avec emploi intensif de main-d'oeuvre. Cependant, si l'état s'adresse à un entrepreneur, il doit y avoir une convention officielle, qui indique à l'entrepreneur le travail à réaliser et le mode de paiement. Ces documents comprennent normalement des plans ou schémas techniques, ainsi que des spécifications qui s'appliquent à la qualité requise du travail. Ils doivent inclure également un délai et une garantie d'exécution du travail, et une clause de dommages-intérêts qui fixe exactement les sanctions à appliquer si les clauses antérieures ne sont pas respectées. Dans le cas d'un aménagement progressif, les unités de travail sont parfois difficiles à définir ou à mesurer. Au lieu de payer l'entrepreneur d'après les unités de travail réalisées, comme c'est couramment l'usage, on peut le payer d'après le temps et les matériaux nécessaires. Ce procédé requiert cependant une comptabilité très exacte et détaillée pour assurer une juste rétribution des services rendus.

Pour les routes à faible capacité, comme la construction ne relève pas de la haute technique, les spécifications ne doivent pas non plus être trop techniques. Elles doivent cependant fournir suffisamment d'information pour ne laisser aucun doute quant à la qualité de travail désirée. Dans certains cas, on peut y spécifier les différentes phases à réaliser pour obtenir les résultats désirés, mais il ne faut pas limiter la liberté d'action de l'entrepreneur quant au choix des méthodes possibles. Les spécifications doivent aussi inclure certaines clauses pour le contrôle de la qualité des matériaux à utiliser.

CHAPITRE IV

Construction du projet

MOBILISATION

Matériaux

Avant d'entreprendre la construction, il faut prendre les dispositions nécessaires pour la livraison des matériaux, des outils et du matériel, et pour la mobilisation de la main-d'oeuvre. Le conducteur de travaux doit, pour bien faire, posséder tous les matériaux sous son contrôle avant d'en avoir besoin. Les retards dans la livraison du matériel peuvent causer des interruptions du travail beaucoup plus longues encore que ce retard.

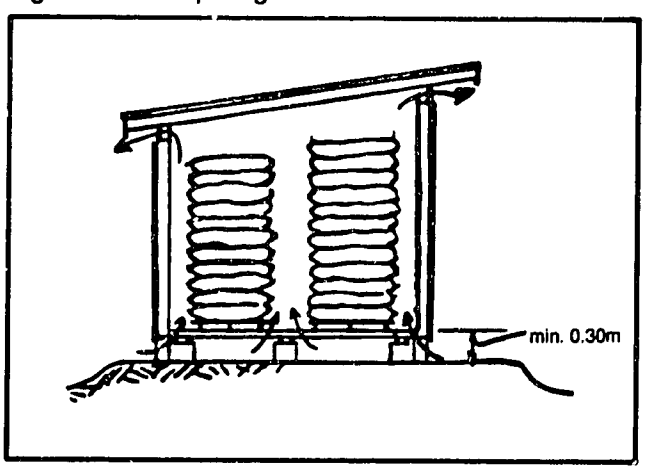
On rassemblera les matériaux et fournitures à un endroit facilement accessible du chantier. Cet emplacement doit être bien drainé, et suffisamment grand pour permettre un entreposage adéquat, un accès facile et une circulation fluide. De préférence, on le choisira à un point central du chantier, et d'accès immédiat pour les livraisons. Si le chantier est très grand, il faundra parfois plus d'un entrepôt. Dans ce cas, on peut entreposer les différents matériaux à divers endroits. Le matériel de construction doit arriver sur le chantier à temps pour vérifier son état de marche, et décider s'il est acceptable, avant de s'en servir. On entreposera le combustible et les lubrifiants.

On installe généralement un abri qui sert de base d'opérations au conducteur de travaux, et où il tient à jour ses comptes rendus. Il faut aussi un endroit sûr, où garder en toute sécurité les petits articles tels que les outils manuels, etc.

Le ciment ne peut pas être entreposé à même le sol; en outre, il faut le protéger des intempéries. Une fois qu'il a été mouillé, il devient inutilisable (Figure 13). Chaque chantier recevra le ciment nécessaire pour terminer le travail à cet endroit. Si la quantité nécessaire est trop grande pour être bien protégée, on le livrera en plusieurs fois. On protégera les agrégats et le sable contre la contamination par des matériaux étrangers. Lors de leur manipulation et de leur mise en dépôt, les agrégats doivent être déposés en couches plutôt qu'en piles coniques. Lors de leur dépôt en tas coniques, les particules roulent et les gros agrégats se séparent des plus fins. Les agrégats ainsi séparés donnent un béton de mauvaise qualité.

L'acier d'armature ne peut être entreposé à même le sol; d'autre part, si l'on ne s'en servira pas avant plusieurs mois, il faut le protéger contre les intempéries afin d'éviter la formation de rouille.

Figure 13. Entreposage du ciment.



Si des explosifs sont nécessaires, on prendra grand soin de la sécurité, et on les entreposera dans un endroit sûr, éloigné des autres activités. On n'entreposera que la quantité minimum nécessaire pour ne pas interrompre les travaux. Les explosifs et les dispositifs détonants doivent être manipulés séparément, et il ne faut jamais les entreposer ou les transporter ensemble. S'il s'agit d'une quantité d'explosifs assez importante, on les entreposera dans un endroit entouré de monticules de terre, ou à un endroit où une explosion accidentelle ne mettrait pas en danger le personnel aux alentours.

Programmation

Le conducteur de travaux doit étudier le projet qui lui a été confié, afin de déterminer une séquence logique de construction. Il doit tenir compte de l'influence des saisons et du climat sur le travail, et, d'autre part, prévoir les besoins de main-d'oeuvre. Par exemple, s'il s'agit d'un projet avec emploi intensif de main-d'oeuvre, il faut tenir compte de la main-d'oeuvre disponible selon les saisons, et de la période de formation du personnel. Ces mêmes considérations s'appliquent à l'emploi de matériel local.

OUTILS ET MATERIEL

Généralités

Le nombre et la nature des outils et des engins nécessaires pour un projet de construction de route, dépendent de plusieurs facteurs, parmi lesquels la nature du travail, les conditions économiques locales, la disponibilité de matériel et de main-d'oeuvre locale. Ces facteurs interviennent de toute façon, que la politique de l'état exige un emploi maximum de main-d'oeuvre ou non. La méthode la plus pratique consistera souvent à combiner l'emploi de matériel et de main-d'oeuvre.

Le travail à la main est plus productif lorsque le sol est maniable, lorsqu'il s'agit de petits volumes et de courtes distances de transport. Si le sol devient plus difficile à manier et lorsque le volume augmente, il faut plus de matériel. Les longues distances de transport et l'enlèvement de rochers ou de grosses pierres requièrent un matériel plus lourd. En général, les méthodes de construction avec emploi intensif de main-d'oeuvre conviennent pour les terrains plats ou légèrement ondulés, tandis qu'un terrain montagneux ou vallonné requiert des méthodes de travail basées sur l'emploi de matériel.

Outils

La construction avec emploi intensif de main-d'oeuvre requiert toute une gamme d'outils, entre autres des pelles, pics, houes, traîneaux, truelles, brouettes, haches, scies et machettes. Des manches d'outil, des limes d'affûtage et autres articles sont nécessaires pour conserver les outils en bon état. Des outils de rechange doivent être disponibles lorsqu'un autre est endommagé ou lorsque les manches se cassent. Des manches d'outil sont généralement en vente sur les marchés locaux, et ils sont mieux remplacés par une personne expérimentée que par l'ouvrier qui les utilise.

Dans certaines régions, les manoeuvres locaux sont plus habitués aux outils de l'endroit, qui ne sont utilisés que là-bas. Dans ce cas, le conducteur de travaux doit décider quel est l'outil le mieux indiqué. Il faudra parfois enseigner l'utilisation d'outils auxquels les manoeuvres ne sont pas habitués.

Matériel

On peut parfois réaliser des économies substantielles en utilisant le matériel local au lieu d'engins pour la construction des routes, importés et plus coûteux. Par exemple, on peut employer des chariots ou remorques tirés par des animaux pour transporter les matériaux sur de courtes distances, des tracteurs agricoles auxquels on a fixé des lames pour étendre les matériaux détachés, et des tracteurs ou charrues tirées par des animaux pour désagréger le sol qui doit être excavé par les manoeuvres.

Lorsque le travail requiert l'emploi intensif de matériel, on utilise normalement les engins suivants :

1. Camion à benne basculante — Très utile pour le transport de matériau foisonné, sur des distances trop longues pour utiliser des brouettes. Le nombre de camions nécessaires dépend des distances de transport, de la méthode de chargement et du nombre d'opérations en cours. Le nombre de camions utilisés doit assurer le fonctionnement continu, aussi bien des engins de chargement que des camions.
2. Niveleuse automotrice — Très polyvalente, elle sert à transporter de petites quantités de matériau sur de courtes distances. Elle étend, nivelle et profile la terre et les matériaux pour former l'assiette de la route et autres surfaces. On l'emploie pour profiler les fossés et pour couper et tailler les talus. On peut y fixer un scarificateur pour désagréger les sols durs. Sa longue distance entre essieux la rend idéale pour profiler la surface définitive de la route selon la pente longitudinale et transversale requise. Une niveleuse automotrice convient généralement pour un projet de 10 km.
3. Rouleau — Utilisé pour compacter les sols et autres surfaces. Il en existe de plusieurs types : ceux à bandages acier nus, à pieds de mouton et à roues multiples sont les plus courants. Ces rouleaux peuvent être tractés ou automoteurs. Selon leur type, ils sont plus ou moins efficaces sur certains sols. Le mieux adapté à tous les usages est celui à roues multiples. On peut parfois le substituer par un autre engin, bien qu'on le considère essentiel pour une bonne construction, même pour des projets basés sur l'emploi de main-d'oeuvre.
4. Bulldozer — Il sert à déplacer d'importants volumes de terre sur de courtes distances. Son énorme puissance est tout particulièrement utile pour les lourds travaux. On peut l'employer pour les travaux de mise en forme et de nivellement, et pour enlever des souches ou déplacer de grosses pierres. Son emploi est souvent peu justifiable pour des routes à bon marché où il ne faut déplacer que des sols légers, en petite quantité. Pour la construction de routes économiques, le bulldozer est plus nécessaire dans une contrée vallonnée ou montagneuse que sur un terrain plat. On ne peut pas utiliser les bulldozers à chenille pour la compactation car le poids unitaire sur la chaussée est trop peu élevé. Un tracteur Caterpillar D9 qui pèse 43,20 tonnes (95.000 livres), ne transmet au sol qu'une pression de 1,06 kg/cm² (15 livres par pource carré), tandis qu'un rouleau à 3 roues, de 9 tonnes (20.000 livres) transmet sous ses roues motrices une compression de 49 kg par cm de largeur de route (275 livres par pouce de largeur), ou plus.

5. Chargeur à benne frontale — Des plus utiles pour charger les camions et pour déplacer d'importants volumes de terre sur de courtes distances, sans camions. Dans les constructions de routes économiques, on l'utilise essentiellement pour charger les camions sur les lieux d'emprunt. Cependant, on peut aussi l'employer pour excaver. Normalement, on ne l'utilise pas dans les constructions basées sur l'emploi de main-d'oeuvre.

D'autres engins peuvent être nécessaires, selon la nature de la construction et le degré d'emploi de main-d'oeuvre. Si on rencontre une roche dure, de grande dimension, il faudra parfois utiliser un compresseur d'air et des perforatrices. Les roches moins importantes peuvent être perforées par les manoeuvres. Les ponts et le battage des pieux aussi requérir un matériel plus lourd, mais il faut cependant faire un effort raisonnable pour appliquer des méthodes de construction moins coûteuses lorsque c'est possible.

PREPARATION ET DEFRICHAGE DU TERRAIN

Préparation du terrain

Aussitôt que possible, on recherchera sur le terrain couvert par le projet, les endroits où se forment des mares, ainsi que les sols humides. On peut éviter de futurs problèmes de construction en drainant le terrain ou en l'exposant au soleil et au vent. Il faut également localiser les gisements de matériaux d'emprunt ou de graviers, et les préparer pour une extraction future. Parfois, on devra y aménager un chemin d'accès ou défricher et décaper de terre végétale.

Jalonnage

Le terrain doit être jalonné pour permettre de contrôler le travail. La quantité de jalons et les détails de l'opération dépendront de la nature du travail à réaliser. Le jalonnage des nouvelles routes doit indiquer la ligne de centre, ses différentes cotes, le sommet des talus et le pied des remblais. On obtient les informations de base pour le jalonnage, du plan technique et du profil-type. En général, une équipe d'arpentage jalonne le tracé dans la zone à aménager. Le contremaître a à sa disposition une série de profils en travers et un profil longitudinal, qui lui servent de guide pour piqueter les cotes désirées. On place ensuite des cordeaux pour s'assurer que le matériau est bien excavé, ou déversé et étendu, selon la pente et le profil en travers corrects. On doit également indiquer avec des cordeaux, la pente des fossés de drainage, particulièrement sur terrain plat.

Défrichage

Le défrichage consiste à enlever la végétation existante pour préparer le terrain à l'excavation et au remblayage. Le défrichage est aussi parfois nécessaire avant de creuser des fossés ou d'excaver les lieux d'emprunt. Il faut éclaircir, au minimum, une bande dépassant d'un mètre le sommet des déblais et le pied des remblais. De plus grandes surfaces doivent être nettoyées afin d'éviter l'obstruction de la ligne de vision aux croisements de routes ou dans les virages. Dans les régions boisées ou humides, le défrichement de larges surfaces aux côtés de la route peut avoir un effet bénéfique sur la construction, en exposant le terrain à l'effet asséchant du soleil et du vent. On peut réduire fortement le danger de blocage de la route par la chute d'arbres, en défrichant les bords sur une largeur de 1½ à 2 fois la hauteur des arbres. Dans les tropiques, on recommande de plus grandes largeurs sur les routes orientées nord-sud.

Selon la nature du projet et les caractéristiques de la végétation, le défrichage consiste en l'une ou plusieurs des opérations suivantes :

1. Abattre les arbres et couper les buissons — si les arbres sont assez grands et d'assez bonne qualité pour être vendus dans le commerce, on peut les couper à une longueur qui permette leur transport. Sinon, on les coupe à la grandeur qui convient aux habitants de la région et on les leur donne pour qu'ils en fassent bon usage. On ne laissera pas d'arbres trop près du sommet des pentes car l'action continue des intempéries provoque souvent leur chute.
2. Elimination de la végétation — éliminer les broussailles, l'herbe et les plantes.
3. Dessouchage — extraction des souches et racines d'arbres. Dans les régions où il n'existe pas de termites ni de fourmis blanches, les souches qui seront recouvertes par 1,5 m ou plus de remblai, peuvent être laissées en place.
4. Nettoyer et brûler — rassembler les débris restant sur l'aire de la route et les brûler, ou sinon, jeter ce qui est inutilisable. On entassera les produits du défrichage qui peuvent être utiles, à un endroit où ils n'obstruent pas le drainage et où ils n'interfèrent pas avec le trafic ni la construction. Il faut, bien sûr, prendre les précautions nécessaires pour éviter des incendies incontrôlables.

Le défrichement se fait toujours à la main, avec des haches, scies à main et machettes pour abattre les arbres, et des pelles, houes et pioches à essarter pour défricher et déracinner. On extrait les souches au moyen de pelles, ou à la dynamite si elles sont très grosses.

Le défrichage est une opération qui se prête très bien à la méthode d'aménagement progressif. On peut, en effet, défricher longtemps à l'avance et indépendamment des autres opérations de construction. On peut, par exemple, réaliser certaines économies sur les dépenses en main-d'oeuvre et en matériel, si l'on permet aux habitants de la région de couper, pour leur propre usage, le bois qui doit disparaître. Vu qu'un certain contrôle est nécessaire, on identifiera à l'avance chaque arbre ou les zones à abattre et on donnera l'autorisation de les emporter.

On peut entreprendre ce programme comme une étape à part de l'aménagement, qui peut s'initier longtemps avant la construction à proprement parler; il peut aussi bien faire partie d'aménagements localisés que de projets de plus grande envergure.

SOLS

Généralités

Après le décapage de la cape végétale, on peut passer a l'excavation et au remblayage. On construit les lits de routes et les remblais les meilleurs lorsqu'on connaît et comprend les sols qui interviennent **(6)**.

Pour les routes économiques, le sol est le matériau de construction le plus courant et c'est souvent le seul matériau employé. Certains sols conviennent parfaitement pour cette utilisation, et la plupart peuvent être améliorés par des procédés adéquats. Bien que leurs propriétés varient énormé-

ment, on peut les classer par groupes présentant les mêmes caractéristiques.

Le sol est composé par quatre éléments physiques : le gravier, le sable, le limon et l'argile. Les sols naturels peuvent être composés d'un seul de ces éléments, mais ils en contiennent généralement deux ou plus. La dimension des particules est la propriété physique la plus employée pour identifier un sol. Le gravier et le sable se définissent comme éléments à gros grains, tandis que le limon et l'argile sont des éléments à grains fins. Ces quatre éléments peuvent contenir une quantité variable de matériau organique, que l'on définit parfois comme un cinquième élément. Les dimensions du gravier, le plus gros des éléments, varient entre la grosseur d'un poing et celle d'un petit pois ou d'une fève. Il est très commun, facilement reconnaissable, et on le trouve souvent au fond des ruisseaux, mélangé avec relativement peu d'autres éléments. Le sable, second dans l'échelle des dimensions, a une grosseur qui varie entre celle d'un petit pois ou d'une fève, jusqu'à la plus petite dimension visible à l'oeil nu. On le trouve souvent avec le gravier, et en quantité variable dans la plupart des sols. Les particules de limon et d'argile sont trop petites pour être vues à l'oeil nu. C'est ce qui reste d'un sol lorsque les graviers et le sable en ont été séparés. La partie argileuse est plastique ou présente la consistance du mastic. Le limon, par contre, n'est pas plastique et se comporte plutôt comme un sable extrêmement fin.

On distingue l'argile hautement plastique de celle de faible plasticité. On appelle argile le sol humide à grains fins (limon et argile), qui peut être roulé entre les mains en boudins, même s'il contient du limon. Plus le boudin que l'on peut former est fin, plus l'argile est plastique. Un boudin qui se fragmente en petits morceaux indique une argile moins plastique et qui contient plus de limon. Si le sol est dur et formé de gros morceaux, plus ceux-ci sont difficiles à briser, plus le sol est plastique et plus il contient d'argile.

Un simple test permet de déterminer la quantité approximative de chaque composant du sol. Placer un échantillon de sol dans un récipient en verre, jusqu'à environ un tiers de son contenu. Ajouter de l'eau jusqu'aux deux tiers et bien agiter. Laisser se déposer le matériau jusqu'à ce que l'eau soit claire ou presque. Le sable se sera déposé au fond, et on peut le distinguer du limon qui s'est déposé au-dessus du sable. On peut également distinguer le limon de l'argile, qui s'est déposée sur celui-ci. L'épaisseur de chaque couche indique la proportion de chaque matériau.

Le matériau idéal pour la construction de routes est constitué principalement de gravier et de sable, avec juste assez de limon et d'argile pour le lier. La grosseur des grains de gravier et de sable doit être variée, afin qu'ils puissent s'interloquer. Il ne devient pas mou lorsqu'il est mouillé, ni désagrégé et pulvérulent lorsqu'il est sec. Plus un sol ressemble a ce matériau-type, meilleur est-il pour la construction de routes.

Les graviers et sables sans limon ni argile peuvent constituer de bons remblais, si toutefois ils sont confinés, c'est-à-dire si on les recouvre d'autres matériaux qui les maintiendront en place. Le remblai sera de meilleure qualité si les matériaux employés contiennent de fines particules pour remplir les vides entre les gros grains et les lier entre eux. Le contenu de limon et d'argile peut augmenter sans trop de perte de qualité, à condition que le sol reste assez sec. Mais, à mesure qu'augmente le contenu de limon et d'argile, et si la teneur en eau devient excessive, le sol perd de sa stabilité.

Les mêmes remarques s'appliquent aux graviers et sables employés pour le revêtement. Des graviers et sables purs (ceux sans limon ni argile) fournissent un bon support pour les charges des roues lorsqu'ils sont compactés, mais sans un bon liant ils sont vite déplacés par l'action des roues ou des pneus; s'ils contiennent la quantité correcte de liant, ils sont stables, restent en place et fournissent un bon support. S'il contient trop de liant, le sol se ramollit lorsqu'il s'humidifie et devient pulvérulent lorsqu'il est trop sec.

Les sols formés principalement par de l'argile et du limon conviennent bien pour les remblais, à condition de les contrôler. Si la teneur en eau au moment ou le matériau est placé, n'est pas entre certaines limites, ces sols deviennent difficiles à manipuler. Trop secs, ils sont difficiles a extraire et se présentent en gros morceaux; trop humides, ils sont glissants et peuvent se transformer en boue. Les sols de limon et d'argile forment d'assez bons remblais tant qu'ils sont secs, mais ils deviennent mous une fois mouillés, ce qui rend la plupart des chemins et des routes en terre impraticables durant les saisons de pluies. C'est pourquoi il est si important de fournir un drainage adéquat adjacent au lit de la route, et de garantir son bon fonctionnement. Les sols de limon et d'argile qui contiennent de plus grandes quantités de gravier ou de sable conviennent mieux et s'emploient sur les routes pour obtenir une surface tous temps.

La composition des sols situés assez près l'un de l'autre peut varier considérablement, ainsi que celle de différentes strates de sol en un même endroit. Lorsque de telles variations se présentent, et que les différents sols sont utilisés pour la construction de remblais, on placera les sols les moins bons au fond, et les meilleurs au-dessus. Comme la pression d'une roue de véhicule diminue avec la profondeur du sol, les sols les moins bons qui sont au fond sont soumis à moins de pression et sont donc moins susceptibles d'être déformés par les charges. Les sols de meilleure qualité de la surface peuvent, eux, supporter les charges plus concentrées sans subir de déformation (Figure 14).

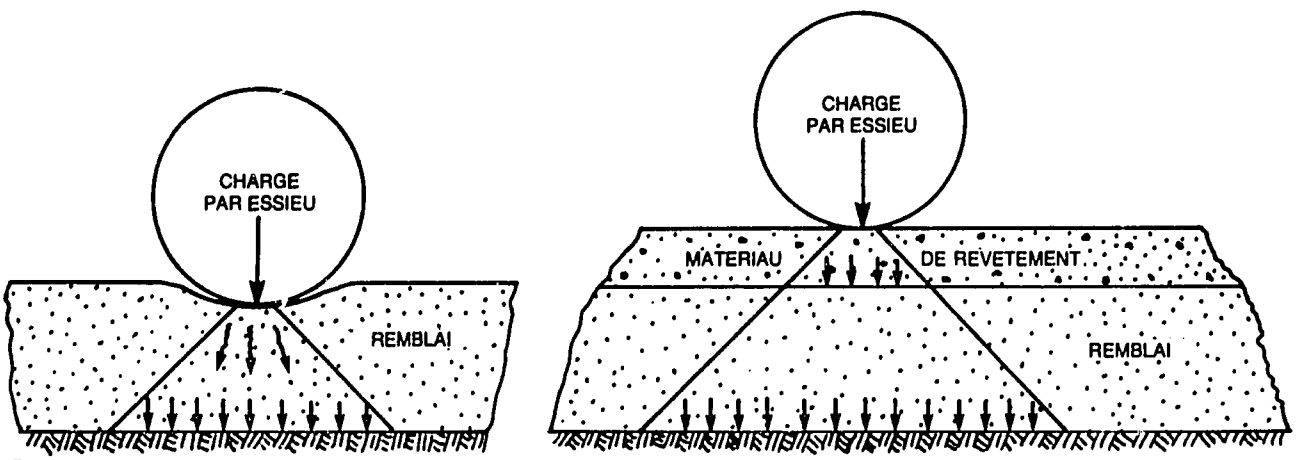
Pour des raisons économiques, l'ingénieur aura rarement un grand choix de sols lors de la construction de routes à faible capacité. Il devra donc choisir judicieusement entre les sols disponibles et faire le meilleur usage possible des sols de moins bonne qualité.

Compactage des sols

Le comportement de chaque sol en tant que matériau pour la construction de routes, ne dépend pas seulement de sa qualité, mais aussi de la façon dont il est mis en place. Le facteur le plus important pour la stabilité d'une route est le compactage au cours de sa construction. Le compactage ne coûte pas très cher, on peut le réaliser par plusieurs méthodes généralement accessibles, et il apporte des bénéfices substantiels.

Le compactage du sol est un procédé mécanique qui rend le sol plus dense, en général au moyen d'un rouleau. Le compactage donne un sol plus serré, plus dense et plus résistant, le maintient plus sec et réduit le gonflement, le retrait et le tassement. La surface d'une route bien compactée est plus solide, plus durable, moins propice aux ornières sous le passage des roues, et moins coûteuse à entretenir qu'une route non compactée ou mal compactée. Cinq facteurs interviennent dans le compactage : (a) la nature du sol,

Figure 14. Distribution de la charge dans le sol.



Remarques

- La charge exerce la plus grande pression sur la surface de roulement; la charge s'étend sur une plus grande superficie à mesure qu'augmente la profondeur; placer les sols de meilleure qualité en surface, et ceux de qualité inférieure au fond.
- Dans le diagramme de gauche, la charge déforme la surface de la route et provoque des ornières parce que le sol du remblai ne fournit pas un support adéquat; cela peut être dû à la mauvaise qualité du sol, à un mauvais compactage du remblai, à un excès d'humidité, ou à plusieurs de ces facteurs.
- Dans le diagramme de droite, on a placé,sur le même remblai, un matériau de revêtement (généralement un mélange sable-gravier-argile); la surface est moins sensible à l'humidité et supporte la charge sans se déformer; lorsque la pression de la charge atteint le remblai, elle est répartie sur une superficie plus étendue et peut être supportée sans déformation du matériau de remblai.
- Les matériaux de remblai de mauvaise qualité et/ou les lourdes charges requièrent des couches de revêtement plus épaisses.
- Aussi bien le revêtement que le remblai fournissent un meilleur support, sans déformation, lorsqu'ils sont bien compactés.

(b) le matériel, (c) l'épaisseur de la couche de sol, (d) le nombre de passages du compacteur, et (e) la teneur en eau.

Certains sols sont plus facilement compactables par un type de compacteur que par un autre (6), mais le constructeur de routes économiques n'a guère l'occasion de choisir le sol et a encore plus rarement le choix entre plusieurs rouleaux. En général, les compacteurs à roues multiples sont les plus efficaces sur la plupart des sols. Partout on peut se procurer des rouleaux à bandages acier nus, mais ils sont souvent moins efficaces. On peut les utiliser si les couches à compacter sont assez minces, cependant sur un sol inégal, ils ont tendance à "ponter" et compactent irrégulièrement. Ils conviennent mieux pour le finissage. On peut remplacer le compacteur à roues multiples par un camion chargé, qui dans de nombreux cas compactera mieux que les autres types de compacteurs. Si on emploie un camion, il faut prendre soin à ce que les traces de roues soient bien distribuées sur toute la largeur à compacter. Les rouleaux à pieds de mouton compactent bien les sols argileux, mais par contre ils ne conviennent guère pour les limons ni pour les sables fins.

Les sols doivent être étendus en couches de 15 à 20 cm d'épaisseur maximum (mesure avant compactage). Des couches plus épaisses sont plus difficiles à compacter. L'engin de compactage passe sur le remblai dans le sens de sa longueur, en partant des bords et allant vers le centre. Pour assurer un compactage uniforme, le rouleau doit repasser sur environ la moitié de la largeur de son passage antérieur.

Le nombre de passages dépend du sol, de sa teneur en eau, de l'engin utilisé et de l'épaisseur de la couche. On compte en moyenne quatre à six passages, et plus pour les sols secs. On laissera aux sols trop humides le temps de sécher avant le compactage, sinon ils deviennent spongieux et empêchent le bon compactage des couches suivantes.

Pour chaque sol il existe une teneur en eau à laquelle il se compacte mieux. Pour cette valeur de la teneur en eau, connue sous le nom de teneur en eau maximale, on obtient la densité maximale avec moins de passages de l'engin. La détermination précise de la teneur en eau maximale requiert des essais de laboratoire assez précis. Cependant, on peut obtenir une approximation suffisante pour les constructions économiques, en réalisant le simple essai in situ suivant.

Les sols à grains fins, ainsi que les graviers et sables contenant des fines, doivent être bien humides, ni trop mouillés et collants, ni trop secs et pulvérulents. Ils doivent être juste assez humides pour qu'une boule de sol reste entière lorsqu'on la serre entre les mains, sans toutefois y coller. Comme vérification, laisser tomber la balle de sol d'une hauteur de 45 à 50 cm, sur une surface dure. Elle doit être assez humide pour se fissurer sans se désagréger après sa chute. Si le sol sur le chantier colle aux chaussures ou aux engins, il est trop humide; s'il est pulvérulent, il est beaucoup trop sec.

On peut réduire le coût de compactage du sol, en mettant à profit les conditions naturelles de ce dernier. Par temps sec, le sol sera normalement à sa plus haute teneur en eau lors de l'excavation. Il doit donc être mis en place et compacté avant de sécher. On peut l'humidifier plus en l'arrosant de gouttes d'eau, mais ce procédé est cher et, de plus, il n'est pas toujours aisé de se procurer l'eau. Un sol trop mouillé doit être laissé sécher par le soleil et par le vent. Il séchera plus rapidement si on le désagrège quelque peu afin d'accélérer l'évaporation. Durant les saisons de pluies, cependant, il faut éviter que le sol ne deviennent encore plus mouillé. Lorsqu'un orage menace, on peut réduire les risques d'un excès d'humidité en profilant la surface pour faciliter son drainage, et en compactant légèrement afin d'obtenir un écoulement supérieur.

Sols inadéquats

Parfois les routes doivent passer par certaines zones où le sol ne convient pas à la construction des routes. On peut souvent obtenir des résultats satisfaisants en mélangeant ces sols avec des quantités variables de chaux, ciment ou poussière de briques pour augmenter leur stabilité (12).

Dans les climats tropicaux et subtropicaux, on trouve souvent des sols "de coton noir". Ce sont des sols très plastiques dont le volume change beaucoup avec les variations de la teneur en eau. On peut contrôler les effets préjudiciables de ces variations de volume en isolant le remblai formé par le sol de coton noir, au moyen d'une couche de sable. Une épaisseur de 15 à 20 cm de sable permet de stabiliser la teneur en eau du sol sous-jacent et de réduire au minimum les variations de volume. Les ponceaux et autres petits ouvrages doivent également être isolés par des couches de sable, afin d'éviter que les changements de volume n'affectent les profils d'écoulement.

Lorsqu'on ne trouve aucun matériau de revêtement acceptable, on peut parfois combiner les sols de deux ou plusieurs gisements afin d'en obtenir un qui soit valable. Si, par exemple, on peut obtenir un matériau grenu d'un gisement et un matériau cohérent d'un autre, et qu'aucun n'est valable seul, on peut les transporter tous les deux sur le chantier et les mélanger dans les proportions correctes. Il est bon d'étendre plusieurs sections d'essai, avec plus ou moins de chaque matériau, afin de déterminer la proportion la meilleure.

Le traitement des sols avec des adjuvants, tels que le ciment et la chaux, ou le mélange de plusieurs sols, est coûteux. On n'emploiera ce procédé qu'en dernier recours, s'il n'existe pas d'autres alternatives.

MOUVEMENTS DE TERRE

Décapage de la couche végétable

L'épaissuer de la couche végétale varie normalement entre 10 et 30 cm, en fonction de la végétation, du sol et du climat. La couche végétale peut ne pas exister du tout sur les terrains dénudés, rocheux ou érodés. Elle est facilement reconnaissable, grâce à sa couleur, plus foncée que celle du sol sous-jacent, et ne convient généralement pas pour les remblais.

On peut entasser la terre végétale sur le côté pour l'utiliser plus tard dans la construction, ou la jeter. Elle contient des éléments nutritifs, et peut être placée sur les talus pour augmenter la croissance de la végétation et réduire l'érosion. Elle peut également servir à aplanir les talus des remblais. Si on l'emploie dans la construction, il faut la mettre en place après la formation et le profilage des déblais et des remblais. Il ne faut pas la déposer, même provisoirement, à des endroits d'où elle apporterait des sédiments aux structures de drainage.

Souvent, une épaisseur variable de boue ou d'autres sédiments recouvre la surface ou les bas-côtés des pistes ou des vieux chemins. Ce matériau ne convient pas du tout à la construction de routes. Si la nouvelle route se construit sur un remblai peu épais déposé à l'emplacement du sédiment, celui-ci doit être enlevé et éliminé. Si l'épaisseur du remblai dépasse 0,5 m, on peut laisser le sédiment en place et le niveler, à condition toutefois qu'il ne soit ni trop épais ni trop mou et ne soit cause d'instabilité.

Si on agrandit les remblais existants, il faut enlever la végétation et la couche végétale avant d'apporter le matériau additionnel, de façon à ce que le nouveau et l'ancien matériau se lient plus solidement.

S'il s'agit d'un projet basé sur l'emploi de main-d'oeuvre, on enlève la couche végétale au moyen de pelles et de houes, et on la laisse en dépôt sur le bord de l'emprise de la route, au-delà des déblais, des remblais ou des fossés. Plus tard, on peut la transporter dans des brouettes et la placer sur les talus ou sur les remblais.

Lorsque le décapage se fait mécaniquement, la niveleuse automotrice est l'engin le mieux indiqué. La lame de la niveleuse est orientée de façon à former un cordon avec la terre végétale. On peut ensuite transporter le matériau du cordon sur le tas en dépôt, ou le charger sur un camion et le transporter ailleurs.

Il est souhaitable de garder un certain équilibre entre l'emploi de matériel et celui de main-d'oeuvre. La niveleuse ferait le travail le plus ardu, de désagréger la couche végétale ou d'en former des cordons. Les manoeuvres pourraient alors transporter le matériau désagrégé jusqu'au tas en dépôt, soit avec un camion, soit avec des brouettes. S'il n'y a pas de niveleuse automotrice, on peut employer un bulldozer, ce qui, dans certains cas, est même préférable. Le chargeur à benne frontale, bien que moins polyvalent pour ce genre de travail, peut aussi être utilisé.

Excavation

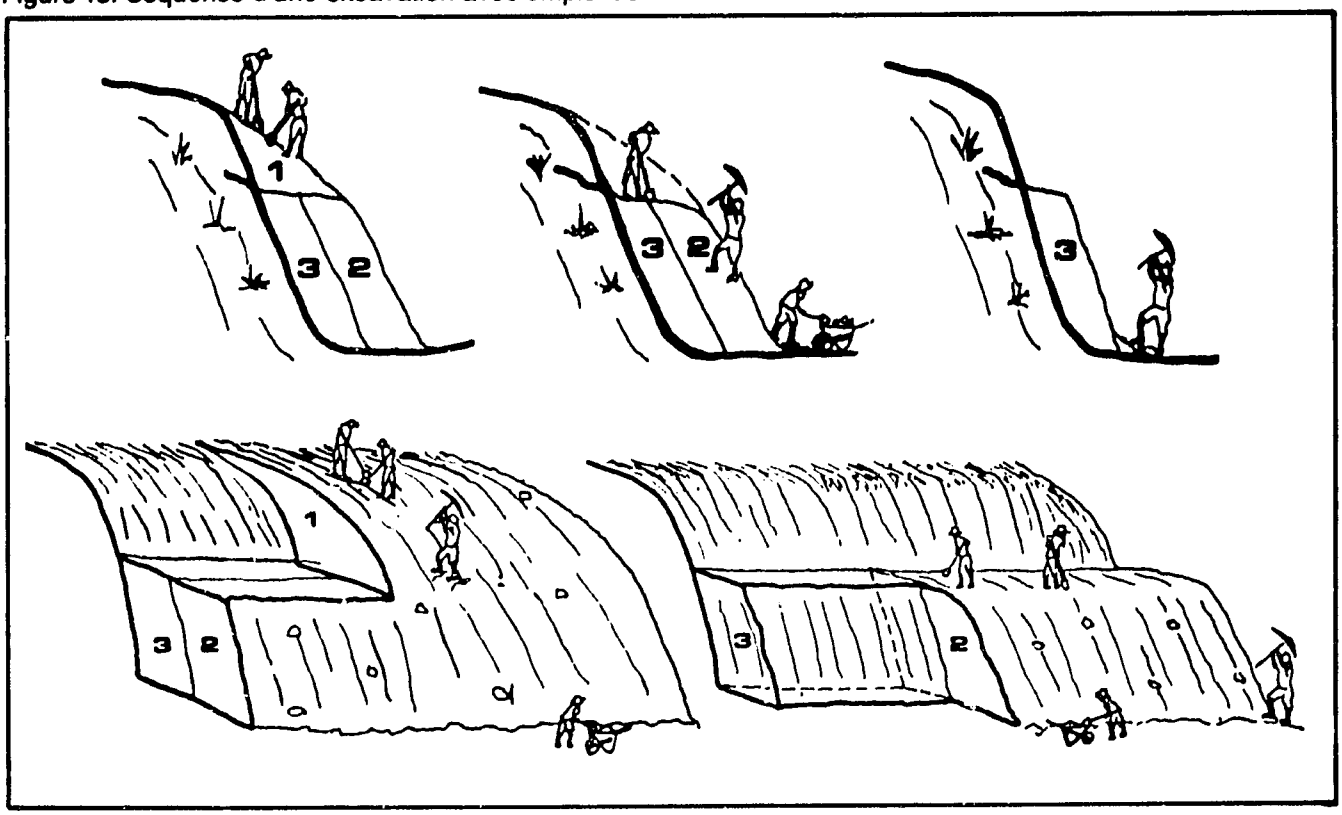
Une fois la couche végétale enlevée, on peut former l'assiette de la chaussée en excavant les zones trop hautes, en remblayant les zones trop basses, et en profilant le lit de la route. Sur les terrains plats, il suffira parfois de creuser les fossés et de déposer entre eux les matériaux de l'excavation pour former l'assiette de la chaussée.

Lorsque le travail est réalisé avec emploi intensif de main-d'oeuvre, l'excavation se fait au moyen de pelles et de houes, et le matériau est transporté jusqu'au remblai. Les manoeuvres doivent être suffisamment éloignés pour éviter qu'ils ne soient accidentellement atteints par l'outil d'un autre. L'excavation ne doit causer aucun glissement de terrain dangereux pour les ouvriers (Figure 15). Si le matériau extrait doit être transporté sur une courte distance (moins de 100 m), on peut utiliser des brouettes. Pour de plus longues distances, un véhicule sera souvent nécessaire. En équilibrant les déblais et les remblais, on peut réduire la distance de transport à un minimum.

Si le projet se base sur l'emploi intensif de matériel, l'excavation dépendra du type de matériel disponible et de la nature de la construction. Le chargeur à benne frontale est plus polyvalent et peut s'employer pour excaver tous les matériaux sauf les plus durs, et pour charger. Un bulldozer peut désagréger les matériaux plus durs et les déplacer sur de courtes distances. Il ne convient guère pour le chargement, à moins que l'on n'installe une goulotte ou un autre appareil par lequel le matériau peut tomber dans un camion (10). Une niveleuse peut également désagréger et déplacer le sol sur une courte distance, mais pour ce travail elle est moins rentable qu'un bulldozer. C'est, cependant, un engin très polyvalent pour creuser les fossés, profiler les talus, et pour d'autres travaux délicats de nivellement (7).

Le travail doit être planifié de façon à profiter de la gravité plutôt qu'à s'y opposer. Il est préférable que les manoeuvres

Figure 15. Séquence d'une excavation avec emploi de main-d'oeuvre.



chargent du côté le plus bas du véhicule de transport, et qu'ils poussent les matériaux vers le bas plutôt que vers le haut. L'excavation doit avancer en laissant le centre du déblai suffisamment surélevé pour permettre le drainage vers les bords.

L'excavation continue jusqu'à ce que le niveau prévu de la ligne de centre soit atteint. On forme alors soigneusement la chaussée selon la section transversale demandée. On peut contrôler celle-ci en étirant un cordeau à travers la route, à une hauteur déterminée de la ligne de centre définitive. On mesure alors les cotes correctes jusqu'à la surface de la route. Les points de repère sont la ligne de centre, le bord de la chaussée, le sommet et le fond des fossés.

Le finissage des talus de déblai se fait généralement à la main, au moyen de houes et de pelles, mais il peut également se faire avec une niveleuse. Une pente correcte, l'enlèvement des matériaux en excès, et le compactage des zones manquant de cohésion, réduisent les probabilités de glissements de talus, qui obstrueraient le drainage (Figures 16 et 17).

Si des fossés sont nécessaires sur les bermes, pour éviter l'érosion excessive des talus, il faut les creuser avant que ces derniers ne soient terminés. On placera les bermes loin du sommet du talus, afin d'éviter les glissements de terrain.

Remblais

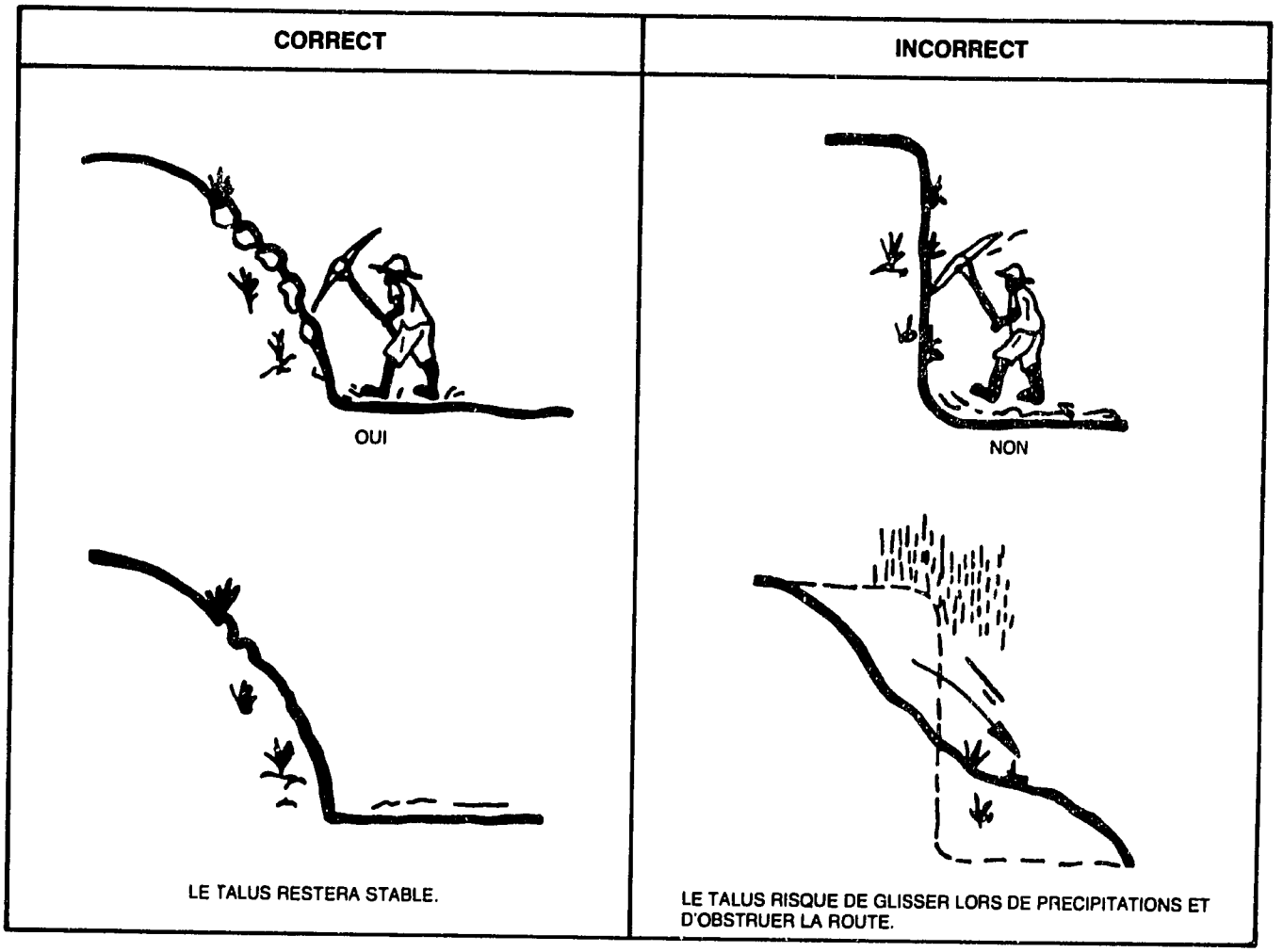
Généralités. Pour les routes économiques à faible capacité, les remblais sont généralement assez bas, parfois à moins d'un mètre sur le terrain adjacent. Des exceptions peuvent cependant se présenter aux ponceaux à une intersection de routes, dans les dépressions sujettent aux inondations et sur les terrains plus accidentés. Une bonne route se distingue d'une mauvaise route par l'application des principes suivants lors de la construction du remblai :

1. Commencer par une base solide;
2. Placer le matériau de remblai en couches d'une épaisseur moyenne et uniforme (de 15 a 20 cm);
3. Bien compacter chaque couche; et
4. Contrôler le drainage pour éviter autant que possible les sols humides, aussi bien durant la construction qu'après.

Base solide. Toute zone trop humide ou trop molle de l'alignement doit avoir été drainée ou exposée au soleil et au vent, au début du projet. Une fois que l'on commence à remblayer, la fondation doit être ferme. Les travaux de construction comprennent souvent l'amélioration de pistes ou de routes en terre non aménagées, situées sur d'anciennes zones de passage. Ces pistes ou anciennes routes sont fréquemment défoncées plus bas que le niveau du terrain, et présentent de grandes ornières. Le matériau provenant de ces ornières forme souvent des cordons aux bords de la route. Avant de commencer à remblayer, il faut niveler grossièrement l'ancien chemin, soit au moyen d'outils, soit avec une machine telle qu'une niveleuse ou un bulldozer. Les fortes dépressions et les trous éventuels doivent être bouchés et compactés avant de placer les couches de remblai.

Conditions spéciales de fondation. Parfois le remblai doit être placé sur des marécages, des marais ou autres terrains instables, trop mous pour les supporter. Si la couche de matériau mou est peu épaisse (moins de 0,5 m), on peut l'enlever et la remplacer par du matériau de remblai. Le poids de plus hauts remblais peut simplement déplacer le matériau mou peu profond, ce qui provoquerait un tassement permanent et irrégulier. Le tassement peut causer certaines difficultés, mais de toute manière il est simple de reniveler la surface de la route de temps en temps.

Figure 16. Excavation sans danger d'un talus.



Si le matériau est profond et trop mou pour supporter un remblai, on peut prendre les mesures suivantes :

1. Placer un tapis de broussailles, branches, feuilles et jeunes arbres, assez dense, de 1 à 2 m d'épaisseur, sur la zone à traverser. La largeur de ce tapis doit être environ le double de celle de la base du remblai prévu. L'épaisseur et la largeur varient selon que le marais est plus ou moins fangeux.
2. Déposer sur ce tapis l'épaisseur minimum de remblai nécessaire pour obtenir une plate-forme de travail.
3. Après quelques jours, placer une couche de remblai de moins de 0,3 m et observer le tassement au cours des deux semaines suivantes.
4. Si ce tassement paraît assez uniforme et s'il n'y a pas eu de glissement latéral, ajouter une autre fine couche de remblai. Ne compacter aucune de ces couches. Répéter l'addition de fines couches au bout d'un temps chaque fois plus long, jusqu'à atteindre la cote minimum requise. En cas de glissement, arrêter tout remblayage de cette zone pendant un certain temps, et ralentir le programme de remblayage sur le reste du tapis.

Il ne faut jamais construire un remblai plus haut que le minimum nécessaire. A mesure qu'il se tasse, on peut le surélever de temps en temps, mais toujours en fines couches. Si un chargement trop rapide provoque un glissement, il peut n'exister aucune solution économiquement possible.

Formation de l'assiette de la chaussée avec emploi de main-d'oeuvre. Une fois la terre végétale enlevée et les irrégularités importantes nivelées, on forme l'assiette de la chaussée en creusant les fossés et en déposant le matériau du côté de la chaussée (Figure 18). Le travail s'effectue avec des houes, des pelles et des brouettes. On étend le matériau en couches de moins de 15 cm d'épaisseur sur toute la largeur du remblai. On peut contrôler la profondeur de fouille en étirant des cordeaux à partir desquels on mesure la profondeur; pour un contrôle facile par les manoeuvres, on peut couper des bâtons dont la longueur corresponde à la profondeur désirée, ou indiquer une marque sur le manche des outils utilisés pour l'excavation.

Pour les raisons exposées antérieurement, chaque couche déposée sur le remblai doit être compactée. Si on ne possède pas de rouleau, on peut improviser d'autres moyens, comme par exemple un camion chargé.

Le matériau obtenu de l'excavation des fossés ne suffit pas toujours pour construire le remblai jusqu'à la hauteur désirée. On peut obtenir plus de matériau en creusant un fossé plus large à fond plat. Cette pratique est courante pour obtenir un volume de terre supérieur, afin d'élever la cote et d'obtenir un meilleur drainage latéral. De cette façon, le niveau phréatique tend aussi à être plus bas et le remblai de la route reste plus sec. On peut obtenir du matériau de remblayage additionnel provenant des déblais ou de fouilles aux côtés de la route.

Figure 17. Excavation sans danger d'un talus.

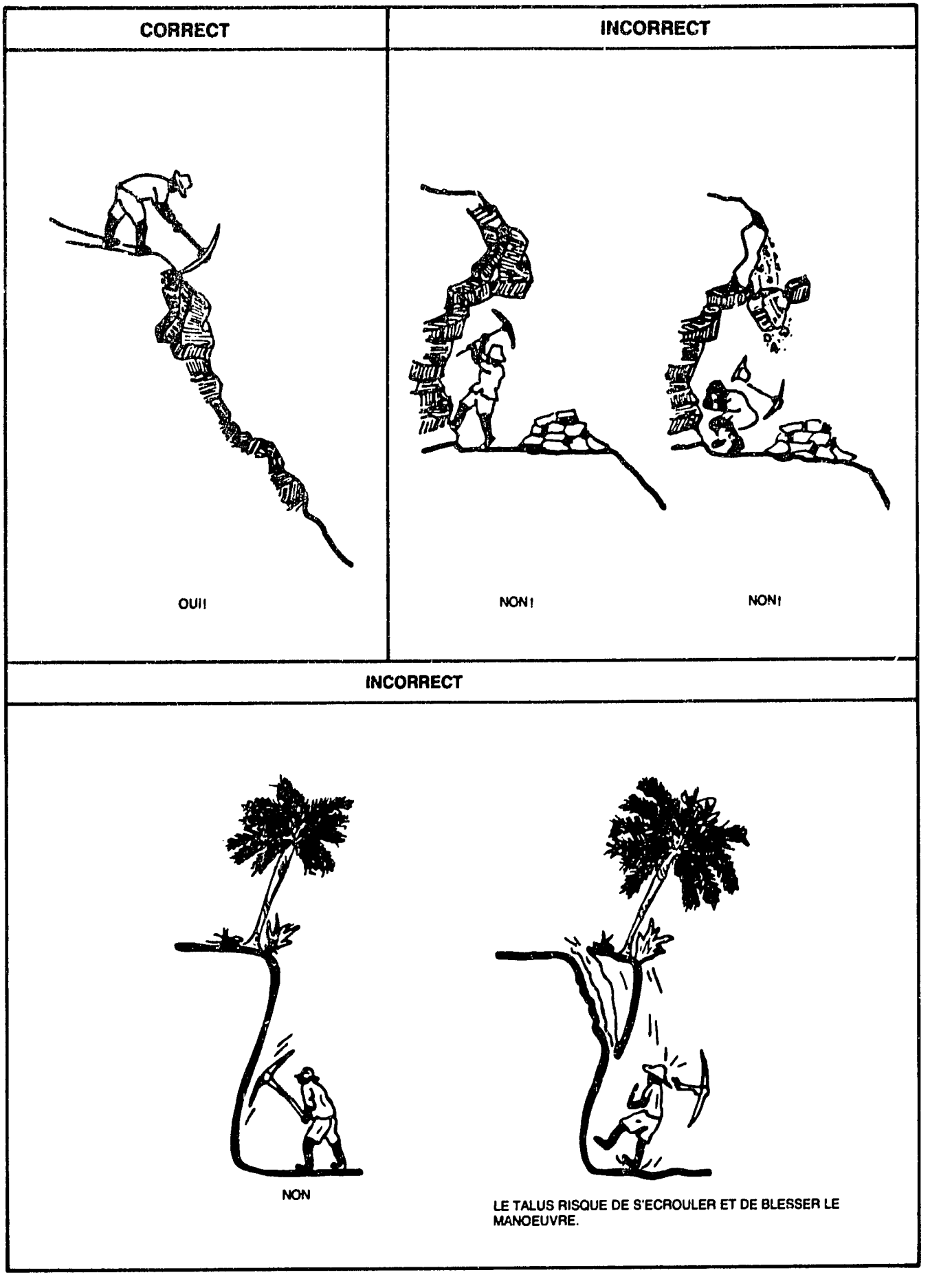
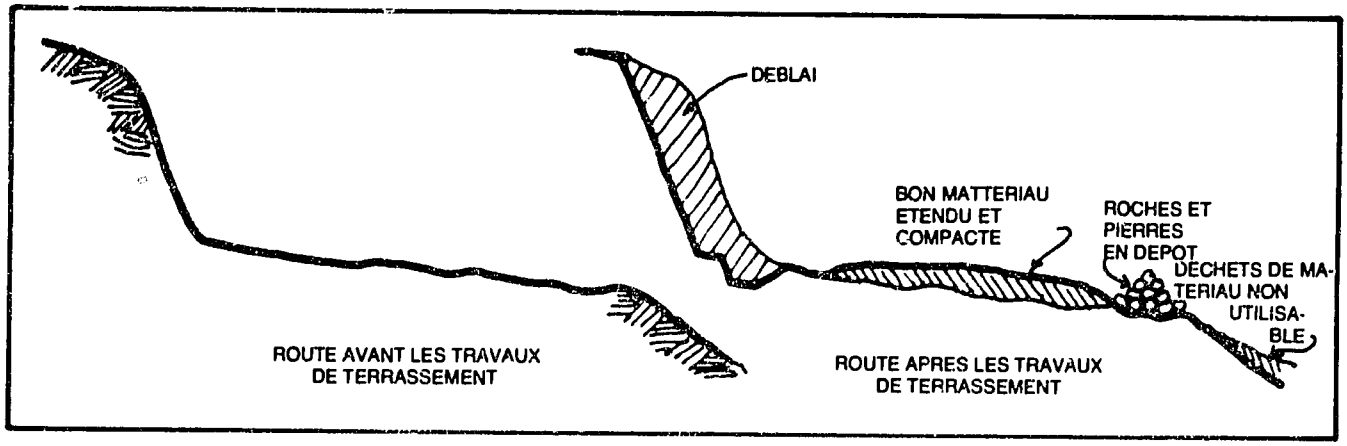


Figure 18. Formation de l'assiette de la chaussée.



Lorsqu'on ne trouve pas de gisements proches, il faut alors utiliser des camions ou d'autres moyens de transport pour amener du matériau d'emprunt sur le chantier de travail.

Formation de l'assiette de la chaussée au moyen de matériel. A moins qu'il n'y ait d'importants remblais, le travail initial avec le matériel consiste à creuser les fossés avec la niveleuse automotrice. Après avoir fixé la lame de la niveleuse dans la direction désirée, on creuse le fossé en suivant l'alignement à la distance prévue de la ligne de centre. La lame pousse les matériaux vers le centre au fur et à mesure de l'excavation. Le matériau est ainsi dirigé vers le centre et étendu en minces couches par la lame. On conserve à tout moment le centre de la route surélevé, afin d'assurer le drainage. Ce processus se répète jusqu'à ce que les fossés aient atteint leur profondeur finale et que la chaussée soit profilée. Les roues de la niveleuse compactent partiellement, mais il faut de toute façon compacter au rouleau pour assurer une certaine uniformité.

Si l'excavation des fossés ne fournit pas suffisamment de matériau pour le remblai, on peut obtenir des matériaux additionnels des zones de déblai du chantier ou d'autres lieux d'emprunt. Des camions à benne basculante amènent ces matériaux jusqu'au remblai, et la niveleuse les étend sur toute la surface, en une couche de l'épaisseur indiquée. Afin d'avoir moins à étendre, on peut décharger le matériau à certains intervalles le long de la chaussée.

Une fois le matériau étendu, on compacte chaque couche en commençant par les bords et en avançant vers le centre de la chaussée. Le rouleau doit chaque fois repasser sur environ la moitié de la ligne compactée précédente. A moins que le sol ne soit trop humide, il faut compacter immédiatement après avoir étendu le matériau et avant que celui-ci ne sèche. Le passage des camions qui amènent le matériau sur différentes parties du remblai aide à la compactation, et réduit ainsi le nombre de passages du rouleau nécessaires. La niveleuse maintiendra une surface lisse et uniforme jusqu'à ce que le remblai atteigne le niveau désiré, tout en conservant le bombement pour faciliter le drainage.

La surface du remblai doit toujours présenter un bon finissage, que le revêtement définitif soit placé immédiatement sur le remblai terminé, ou plus tard. Elle doit être ferme, sans zones molles ni spongieuses. Le bombement doit permettre l'écoulement, sans toutefois être excessif. La surface ne doit présenter aucune dépression susceptible de retenir l'eau. Même une faible dépression causera un ramollissement du sol une fois celui-ci mouillé, et occasionnera la formation de nids de poule sous le passage du trafic.

Elargissement des remblais. L'aménagement progressif peut inclure l'élargissement d'un remblai existant ou l'excavation de nouveaux fossés, pour obtenir une route plus large. Les principes pour une bonne construction restent inchangés. Les matériaux ne doivent pas être déversés en vrac sur le côté d'un remblai pour l'élargir, sinon qu'ils doivent être déposés en couches horizontales, compactées chacune à leur tour. Ce procédé réduira au minimum les tassements différentiels entre le nouveau et l'ancien remblai. Les anciens fossés, qui se trouveront maintenant sous le remblai peu élevé de la route plus large, doivent d'abord être bien nettoyés de tout matériau mou ou humide. On les remplit ensuite de matériau bien compacté, avant de commencer le nouveau remblai.

Procédés de compactage. Les fonds disponibles pour la construction de routes à faible capacité ne permettent pas toujours de se procurer le matériel pour le compactage. Bien que les avantages du compactage soient indéniables, de nombreuses routes ont été construites, dans le passé, sans compactage. Le constructeur de routes qui ne possède pas d'engins de compactage devrait cependant s'efforcer de compacter le mieux possible avec les moyens à sa disposition. Il faut surtout compacter les couches les plus hautes du remblai. Les remblais autour des ponceaux, qui sont exposés à l'érosion par l'eau, sont les plus critiques. On obtient un certain degré de compactage par le passage de véhicules à roues ou de n'importe quelle autre charge. Pour certains espaces restreints, un pilonnage à la main peut être la meilleure solution.

DEBLAI DU ROCHER

Le déblai du rocher est coûteux et hautement spécialisé. Mieux vaut l'éviter s'il existe d'autres alternatives possibles, telles que modifier l'alignement ou la pente. Lorsque le rocher ne peut être évité, on doit souvent le faire sauter avec des explosifs. Cette opération comporte les activités suivantes.

Forage

Au cours de cette opération, on creuse des trous dans le rocher pour y placer les explosifs. Elle peut être réalisée à la main ou mécaniquement, selon la quantité de travail et le matériel disponible.

Mise en place des explosifs et tir

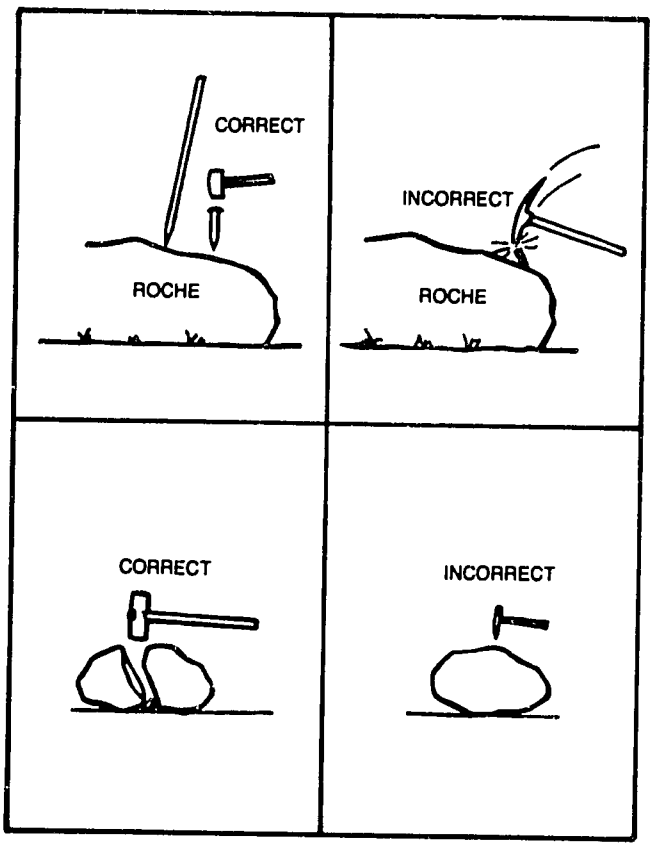
Contrairement au forage, cette opération requiert des ouvriers spécialisés. L'expérience est d'une importance primordiale pour déterminer où forer, et pour charger les trous sans risques inutiles de charges mal placées. Celles-ci peuvent, en effet, occasionner une fragmentation inférieure qui rend les opérations de construction de la route antiéconomiques. Si les manoeuvres ne sont pas des plus qualifiés, il faut s'addresser à des experts en explosifs. Une fois la charge introduite dans le trou et prête pour l'explosion, tout le personnel dans la zone de l'explosion doit être averti du tir imminent par un coup de sifflet ou par une autre alarme.

Extraction et chargement

Après l'explosion, les morceaux de rocher sont ramassés et chargés pour être transportés. S'ils sont trop grands, on peut les rompre au moyen d'une masse ou d'un marteau à devant (Figure 19). Les fragments excessivement grands peuvent indiquer un manque d'efficacité du tir, et il faut parfois les faire à nouveau sauter. Pour le transport sur de courtes distances, on peut se servir de brouettes; sinon, on emploiera des camions à benne basculante.

Les morceaux de rocher peuvent être utilisés dans la construction, mais on ne placera que les petits fragments dans les couches supérieures. L'emploi de gros rochers pour la couche supérieure donne une surface irrégulière et rocailleuse. On peut utiliser les fragments de forme rectangulaire ou cubique pour construire des ponceaux, des ponts ou des murs de soutènement, ou pour revêtir certains tronçons critiques de la chaussée. Les fragments sans forme définie sont utiles comme protection contre l'érosion. Les petits fragments ou les éclats, même mélangés à de la terre, peuvent servir dans la construction de la chaussée, spécialement pour renforcer certaines zones localisées trop molles ou trop spongieuses.

Figure 19. Fragmentation d'une roche au moyen d'outils manuels.



Sécurité

Des mesures de sécurité très strictes sont nécessaires afin d'éviter les accidents dus aux explosifs.

- Les risques d'accident se réduisent si peu d'hommes manipulent les explosifs.
- Ne jamais garder les explosifs et le détonateur au même endroit, et ne jamais les laisser transporter par le même homme.
- Ne permettre qu'à une seule personne de porter le détonateur, de raccorder les fils, et d'appuyer sur le détonateur.
- Le travail doit être assigné selon l'expérience de chacun.
- L'équipe de travail doit savoir exactement quelle est la tâche de chacun.
- La poudre à entreposer ne doit être confiée qu'à un seul homme.
- La poudre doit être entourée d'un remblai de protection en terre, qui ne contienne aucun fragment de roche.
- Tous les réglements de sécurité doivent être observés.

COUCHES DE SURFACE

Généralités

Les couches de surface permettent d'obtenir une route sur laquelle on peut compter toute l'année, quelles que soient les conditions climatiques. Le matériau de revêtement peut être placé soit immédiatement après la construction de la forme de la route, soit lors d'une étape ultérieure de l'aménagement. Chacune de ces deux méthodes a ses avantages et ses inconvénients.

Si on place le revêtement au cours de la construction initiale, le trafic jouit d'une route tous temps immédiatement. Aucun reprofilage extensif ultérieur de la route, pour la préparer au revêtement, n'est nécessaire. L'inconvénient le plus important est le coût initial plus élevé. Cependant, on peut aussi se heurter à des difficultés pour recommencer un nouveau projet de revêtement à une date ultérieure. Certains pays ont pour politique d'inclure le revêtement dans le travail initial.

Reporter le revêtement à une étape ultérieure de l'aménagement présente l'avantage d'un coût initial moins élevé. Les fonds ne sont investis que si la nécessité d'un revêtement se fait réellement sentir. Cette méthode donne aussi le temps à la forme de la route de continuer à se stabiliser avec l'âge. Si certains problèmes surgissent, ils peuvent être corrigés avant de placer le revêtement. Retarder la mise en place du revêtement présente cependant l'inconvénient de ne pas procurer une surface sûre dès le début. La préparation de la route pour recevoir le revêtement est aussi beaucoup plus importante à cause des effets à longue échéance de l'érosion et du trafic.

Méthode de mise en oeuvre à plusieurs couches

La préparation d'une ancienne route pour recevoir un revêtement requiert beaucoup plus de travail que celle d'une route récemment aménagée. Les fossés doivent être nettoyés et les lignes de courant rétablies. Pour ce faire, il est parfois nécessaire de recreuser complètement les fossés, ou simplement d'enlever les débris et les sédiments des anciens fossés. Les sédiments en dépôt dans les fossés sont généralement de si mauvaise qualité qu'on ne peut pas les employer sur la surface de la route. Les ponceaux et le point de rejet des fossés doivent être nettoyés pour assurer le drainage. Les problèmes d'érosion et de drainage doivent être corrigés. Il est probable que la surface de la route soit déformée par l'érosion et par les années d'usage. Elle doit être reprofilée pour obtenir le bombement adéquat pour l'écoulement, et ensuit recompactée.

Le profilage de la chaussée se fait avec une niveleuse automotrice et quelques manoeuvres. Pour le compactage, on peut utiliser soit un compacteur à roues multiples, soit un rouleau à bandages acier nus. Si on ne possède pas de niveleuse ni de rouleau, on peut réaliser le travail au moyen de pics, de houes et de pelles. Les traîneaux improvisés ou ceux de fabrication locale, tirés soit mécaniquement soit par la force animale, peuvent être utilisés pour étendre les matériaux détachés plus uniformément sur la route. Si le matériau est humide, le trafic le compactera.

Revêtement de gravier

Avant de commencer l'opération de revêtement, il faut localiser les gisements de matériaux utilisables. Dans beaucoup de régions, cette recherche de gisements demande un temps considérable, et il faut s'y prendre longtemps avant que les matériaux ne soient nécessaires sur le chantier. Un bon matériau de revêtement doit rester stable aussi bien par temps sec que lors de la saison des pluies, et résister à l'action abrasive du trafic, afin que la surface de la chaussée dure longtemps. En outre, la livraison sur le chantier doit être bon marché.

Les mélanges de gravier, sable, limon et argile sont les matériaux qui répondent le mieux à ces conditions. La stabilité s'obtient par un mélange de granulométrie appropriée, c'est-à-dire qui présente une distribution plus ou moins uniforme de grains allant de particules très fines jusqu'à de gros graviers.

Gisements de matériaux. Les matériaux de revêtement s'obtiennent principalement du fond des ruisseaux ou des rivières, des terrasses, des éventails alluviaux et des dépôts de sédiments. Il se forme également d'autres dépots résultant de la décomposition de roches sous-jacentes **(10,11)**. Très souvent, les matériaux employés pour les aménagements locaux peuvent être réutilisés comme matériaux de revêtement.

Etant donné que les matériaux jouent un rôle si important dans la qualité de la route, il ne faut pas les accepter indistinctement. Les échantillons de différents gisements doivent être soumis à des essais de laboratoire et ils ne seront acceptés que s'ils répondent aux spécifications établies **(14)**.

Les échantillons pour laboratoire s'obtiennent de fouilles de sondage ou du flanc d'un coteau. Toute variation de texture ou de couleur indique un changement de couche de sol. On emballe un échantillon de chaque strate, en y joignant une étiquette qui indique son emplacement, sa profondeur et son épaisseur, et on le soumet aux essais de laboratoire. Pour obtenir un échantillon d'un flanc de coteau, on nettoie d'abord une bande verticale de toute matière végétale et de tout matériau altéré par les intempéries. On extrait ensuite l'échantillon en grattant une quantité uniforme de sol sur toute la hauteur, ou de chaque couche si elles se différencient nettement. Lorsque des essais sur ces premiers échantillons indiquent que le matériau convient, il faut examiner de nouveaux échantillons pour déterminer la situation exacte du matériau acceptable et s'il existe en quantité suffisante.

La présence d'une unité de laboratoire et de personnel qualifié pour aider à chercher les gisements et pour donner une évaluation préliminaire des matériaux, permet une économie de temps et de travail.

Extraction du matériau de revêtement. Avant d'entreprendre l'extraction du matériau, il faut nettoyer le lieu d'emprunt, enlever la terre végétale, et diviser la superficie en plusieurs sections pour déterminer le volume, si toutefois il est nécessaire de le connaître. Dans certains cas, il faut construire des chemins de service afin d'avoir accès au gisement. Si le revêtement est inclus dans la première étape de construction, il faut y travailler simultanément aux terrassements, de façon à ce que le tronçon de route soit protégé immédiatement.

Si le travail se base sur l'emploi de main-d'oeuvre, l'opération est semblable à celles de déblayage, sauf que le transport se fait souvent par camions si les distances sont assez longues. On détache le matériau au moyen de pioches et de pelles, et on le charge à la main. Lorsqu'on extrait le matériau à flanc de coteau, le camion doit être plus bas que les manoeuvres, ce qui augmente le rendement du travail. On creuse le coteau en escaliers, tout en conservant une pente stable, de façon à éviter aux ouvriers tout danger de glissement de terrain. Si le matériau s'extrait d'une fouille, il faut tenir compte du drainage. Une rampe permet l'accès des camions au fond de l'excavation et augmente le rendement du travail. Si le projet se base sur l'emploi intensif de matériel, le chargement se fait au moyen d'un chargeur à benne frontale.

Lorsque le matériau contient des pierres trop grandes pour être placées sur la route, il faut les enlever au lieu d'emprunt, afin d'économiser le transport. Pour ce faire, on passe le matériau sur un tamis incliné qui élimine les grosses pierres. Celles-ci roulent d'un côté tandis que le reste du matériau tombe à travers le tamis dans le camion. On peut improviser ce genre de dispositif, en montant une simple structure en bois ou en pierre, à travers laquelle le camion passera. Pour la grille on peut utiliser de grosses barres d'armature, des rails de chemin de fer ou d'autres matériaux semblables. Les manoeuvres ôteront de la surface de la route les grosses pierres livrées avec le matériau de revêtement.

Le matériau est transporté du gisement jusqu'à la route et déversé. Le nombre de camions nécessaires dépend de la méthode de chargement et de la distance de transport. L'emploi de camions d'égale capacité augmente l'efficacité du chargement et du déchargement. Dès que le matériau est déversé, il faut l'étendre sur toute la surface à revêtir, soit au moyen de pelles et de râteaux, soit avec une niveleuse et d'autres engins. Il doit être compacté immédiatement, de la manière décrite précédemment. Les camions de transport peuvent procurer un compactage partiel en variant leurs passages sur la surface à compacter. Si on ne dispose pas

de rouleau pour le compactage final, on emploiera un camion complètement chargé.

Pour garantir un bon drainage de la surface définitive, il est essentiel, lors du compactage final, de conserver le bombement prévu. Il faut s'assurer fréquemment que la surface compactée conserve l'épaisseur requise et, sinon, prendre les mesures nécessaires pour y remédier.

Revêtement bitumineux

Un enduit superficiel bitumineux est souvent appliqué comme phase finale de l'aménagement progressif, lorsque le trafic atteint un certain volume. Ce genre d'enduit protège les matériaux de la couche de surface, élimine la poussière causée par le trafic, et procure une surface de roulement plus lisse et plus rapide, qui ne se ramollit plus sous les effets de l'eau de ruissellement. Il consiste en une ou plusieurs couches de bitume et de pierres concassées ou d'agrégats grenus. Comme agrégat, on emploie parfois du sable pur. On étend l'agrégat sur la surface existante, qui sert de base au revêtement. Les surfaces instables ou formées principalement de limon et d'argile, à faible capacité portante une fois mouillées, ne conviennent pas pour l'application d'un revêtement superficiel.

Matériel pour revêtement bitumineux. Les travaux avec emploi intensif de matériel requièrent une niveleuse, un camion arrouseur d'eau, une répandeuse de bitume, un traîneau à balais, un cadre tracté, un rouleau à bandages acier nus ou un compacteur à roues multiples (les rouleaux à bandages acier nus écrasent parfois l'agrégat), et des camions à benne basculante. Dans le cas de travaux basés sur l'emploi de main-d'oeuvre, on peut se passer de certains de ces engins.

Matériaux. Il existe plusieurs matériaux bitumineux qui peuvent être utilisés. Le choix dépendra des conditions climatiques et des matériaux que l'on peut se procurer. On préférera les matériaux qui ont déjà démontrés être satisfaisants dans les conditions locales. Comme agrégat, il est conseillable d'employer un gravier concassé propre et dur, de dimension comprise entre 1 et 2,5 cm, mais cela dépend des habitudes locales, du matériau disponible et du nombre de couches à appliquer.

Procédé. On donne à la route la forme et la pente voulues, on remplit les flâches et on nivelle les irrégularités. Il est préférable de réaliser ce travail avec une niveleuse, car même les plus petites irrégularités gênent les véhicules qui roulent rapidement. On fait ensuite passer un rouleau sur la surface, en l'humidifiant si nécessaire, jusqu'à ce qu'elle soit lisse et présente une bonne cohésion. Tout matériau détaché en excès doit être enlevé. Il faut placer le matériau suffisamment longtemps avant le finissage final, afin qu'il soit complètement stabilisé.

Pour l'application du bitume, la surface doit être ferme, légèrement humide et sans poussière ni matériaux épars. Si elle est molle, l'enduit de bitume se détériore rapidement et se désintègre sous le passage du trafic. Si elle manque de cohésion ou si elle est pulvérulente, le bitume n'y adhère pas. En général, le bitume est appliqué sous pression, au moyen d'une répandeuse montée sur un camion et dotée de pulvérisateurs pour une distribution uniforme. La répandeuse est également dotée d'une chaudière qui amène le bitume à la température requise, et d'un appareil de mesure qui permet de contrôler la quantité de bitume. L'application manuelle de ce matériau n'est pas du tout pratique, sauf sur des superficies relativement petites.

Le bitume pénètre la surface de la route et la scelle contre l'humidité, évitant ainsi les ramollissements. il sert également de liant aux pierrailles que l'on répand sur sa surface avant qu'il ne commence à faire prise et que ne s'initie sa cure. Les pierrailles peuvent être répandues au moyen d'un cadre tracté ou des manoeuvres munis de pelles. Si on utilise un cadre tracté, celui-ci est attaché derrière un camion à benne basculante. Le camion chargé recule sur la surface à couvrir, de manière à ce que les roues roulent toujours sur les pierrailles qui viennent d'être étendues et non sur le bitume. Si l'opération se fait à la main, les manoeuvres étendent des peiletées de pierrailles qui ont été préalablement entassées à intervalles réguliers aux bords de la route.

On utilisera assez de pierrailles pour recouvrir la surface en une seule couche. C'est un gaspillage de placer plus d'une couche car les pierrailles en excès sont alors repoussées sur les côtés par le trafic; d'autre part, une couche plus mince n'apporte pas la protection voulue à la surface. Les enduits superficiels d'une seule couche requièrent approximativement 13,5 kg/cm² (25 livres par aune carrée). Pour les enduits superficiels bicouches il faut de 19 à 38 kg/cm² (de 35 à 70 livres par aune carrée).

Une fois la pierraille répandue, elle doit être balayée uniformément, soit avec un traîneau à balais, soit à la main avec de simples balais. Elle est ensuite compactée, de préférence par un rouleau à bandages acier nus, de façon à la fixer dans le bitume et à obtenir une surface de roulement lisse.

Si l'on désire une couche de surface plus épaisse, et partant plus durable, on applique des couches additionnelles de bitume et de pierrailles, mais en moindre quantité. Sur les routes très fréquentées, on applique couramment deux ou trois couches. Une voiture pilote précédera le trafic sur les surfaces de roulement récemment terminées, à une vitesse maximum de 40 km/h (25 mph) durant les 24 heures qui suivent la pose d'agrégats. Pour de meilleurs résultats à long terme, on applique une couche additionnelle tous les trois à cinq ans.

PONCEAUX TUBULAIRES

Généralités

La construction de ponceaux comprend la préparation de l'emplacement, la construction ou la pose du ponceau, le remblayage et la protection contre l'érosion. Il est parfois nécessaire de nettoyer ou de réaligner la voie d'eau aux extrémités de prise et de décharge du ponceau, afin d'assurer un écoulement continu.

On installe normalement les ponceaux avant le remblai de la route. Lorsqu'il n'y a pas d'écoulement d'eau durant la période de construction, on peut construire le remblai d'abord et creuser ensuite une tranchée pour y placer le ponceau. Ce procédé est généralement plus onéreux et doit être évité, à moins que ne se présentent des conditions exceptionnelles.

Les ponceaux peuvent être fabriqués avec des matériaux locaux tels que de la pierre ou du bois, s'ils sont faciles à obtenir. Sinon, on emploie couramment des buses en tôle ondulée. Les ponceaux en béton peuvent être fabriqués in

situ, ou à un endroit central d'où ils sont transportés sur le chantier. La tôle ondulée est généralement un produit importé, mais elle est plus légère que le béton et plus facile à transporter jusqu'à l'emplacement de la construction. S'il s'agit de grands ponceaux, le conduit peut être fabriqué en plusieurs sections qui peuvent être transportées plus aisément et ensuite assemblées sur le chantier au moyen de boulons.

Le choix du genre de ponceau à placer dépend normalement des conditions économiques et la décision doit être prise avant la phase de construction du projet. La détermination de l'emplacement des ponceaux fait généralement partie de la phase de conception et est également antérieure à la phase de construction. Le conducteur de travaux doit toujours être attentif et détecter les autres endroits où l'eau pourrait être bloquée par la construction de la route. Des ponceaux additionnels sont nécessaires à ces emplacements, à moins que l'eau ne puisse s'écouler dans de plus petits fossés.

On décidera de l'emplacement exact des ponceaux sur le terrain, après avoir examiné les conditions d'écoulement et les voies d'eau à chaque endroit. Le ponceau doit faire partie intégrante d'une voie d'eau, et il doit altérer les conditions d'écoulement le moins possible. S'il est moins en pente que la voie d'eau, l'amenée du ponceau peut se remplir de sédiments. Si, au contraire, il est plus en pente que la voie d'eau, la décharge risque d'éroder cette dernière.

On peut être tenté de placer le ponceau perpendiculairement à la ligne de centre de la route afin d'économiser des matériaux. Cette pratique n'est valable que lorsque la voie d'eau originale est également perpendiculaire à la route. Si le ponceau altère la direction du courant, ses extrémités risquent d'être attaquées par l'érosion, et il est finalement plus économique de lui faire suivre le cours naturel de l'eau. Lorsque ceci n'est pas possible, on creuse un nouveau canal d'écoulement, en le protégeant contre l'érosion aux changements de direction du courant. Si la direction du courant doit être altérée, il est préférable qu'elle le soit à l'extrémité de décharge, ce qui assure une protection maximum du remblai contre l'affouillement.

Le ponceau doit être placé sur une couche d'assise lisse et ferme, ayant la pente voulue et altérant le moins possible la ligne de courant. Lorsque le ruisseau coule, il est parfois nécessaire de dévier son cours temporairement, durant la préparation de la couche d'assise et la mise en place du ponceau.

Construction du ponceau

Bois. Lorsque le bois abonde, on peut utiliser des rondins ou des bois taillés à la hache. Les ponceaux en bois ne doivent pas être construits pour un usage permanent, ce ne sont que des ouvrages provisoires. On emploie parfois les ponceaux en bois afin d'avoir accès au chantier lors de la construction, et on les remplace dès que l'on dispose de ponceaux permanents d'un autre matériau. Dans les climats tropicaux et subtropicaux, le bois résiste peu de temps; il pourrit ou est attaqué par les insectes. Dans les climats tempérés et plus secs, par contre, les ponceaux en bois durent de nombreuses années.

Pierre. On construit souvent des ponceaux en pierre dans les endroits où l'on peut obtenir la pierre localement. Leur construction est simple et ne requiert pas de main-d'oeuvre hautement qualifiée. Les seuls matériaux nécessaires sont les pierres, du ciment, du sable et de l'eau. Ce genre de ponceau convient très bien pour les endroits où la voie d'eau est bien définie.

Une fois choisies, les pierres sont taillées, si besoin il en est, avec un marteau de tailleur de pierres. On recouvre le sol d'une couche de pierres avec joints de mortier, selon la pente désirée. On élève des murs de la hauteur voulue, sur lesquels on appuie un arc rectiligne, si la portée n'est pas trop longue et si la pente de la route le permet. Sinon, on coule des dalles de béton armé que l'on pose sur les murs. Lorsque la pente est assez faible et que la portée n'est pas trop grande, ces dalles peuvent servir de surface de roulement, sans recouvrement.

Tuyaux en béton

Lorsque les tuyaux en béton sont fabriqués sur chantier, il faut exercer un bon contrôle de leur qualité. Non seulement les composants doivent-ils entrer dans les proportions correctes et être bien malaxés, encore faut-il soumettre le béton à une cure adéquate. La cure initiale consiste a conserver toutes les parois du tuyau complètement humides durant un minimum de trois jours, soit en les recouvrant d'une toile humide, en les inondant, ou en les aspergeant d'eau. En général, l'arrosage à la main est peu efficace car on a tendance à laisser sécher la superficie avant l'arrosage suivant.

Le tuyau ne doit pas être manipulé ni déplacé avant d'avoir atteint un âge minimum de sept jours dans des conditions favorables de cure Pour de moins bonnes conditions, on attendra plus longtemps.

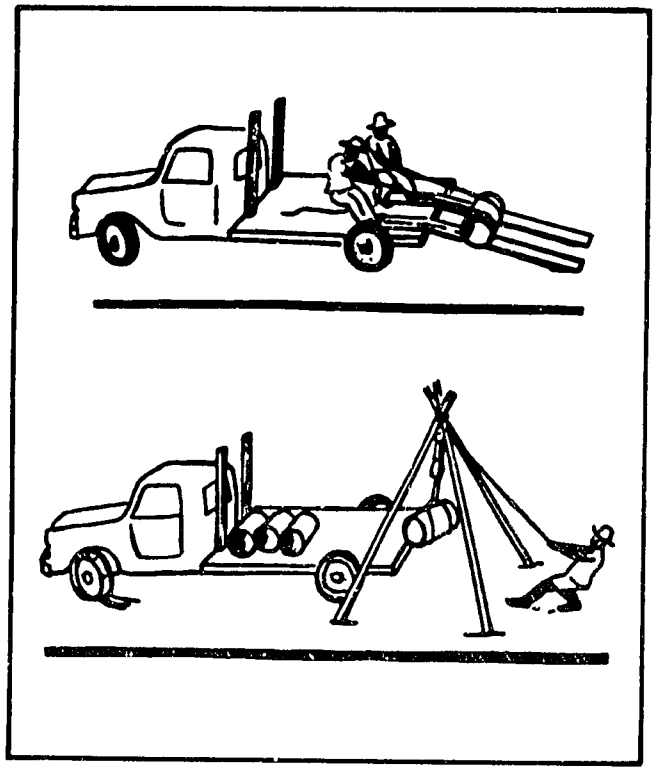
On tâchera de ne pas abîmer les tuyaux durant le transport et le déchargement. Il faut prendre garde à ne pas les laisser tomber du camion et à ne pas les laisser rouler pour descendre un talus (Figure 20).

Mise en place des ponceaux de tuyaux en béton. La couche d'assise du ponceau influence la charge que celui-ci devra supporter. La plus mauvaise assise consiste à déposer simplement le tuyau sur la surface du sol. La couche d'assise est beaucoup meilleure lorsque la terre est façonnée de façon à s'adapter à la partie inférieure du conduit sur environ une moitié de son diamètre (Figure 21). Si le ponceau repose sur un lit de roche ou d'argile dure, il faut creuser et enlever le matériau jusqu'à 10 à 15 cm sous le tuyau et le remplacer par du sable ou par un matériau grenu compacté. Le tuyau ne doit jamais reposer directement sur le rocher.

Les tuyaux en béton pour ponceaux présentent une rainure ou évidement à une extrémité, et la languette correspondante à l'autre extrémité. Lorsqu'on assemble les tuyaux, la languette entre dans la rainure du tuyau précédent, pour former un raccord lisse et continu. Les joints sont scellés avec un mortier de ciment contenant une partie de ciment pour deux parties ou moins de sable fin et pur. Les joints ne doivent permettre aucune fuite d'eau hors du tuyau, ni aucune filtration d'eau ou de sable dans le tuyau. Les filtrations risquent d'éroder la couche d'assise sous le tuyau, entraînant éventuellement la rupture ou le blocage du ponceau.

Le premier tuyau est placé à l'extrémité en aval, avec la rainure vers l'amont. On nettoie l'extrémité évidée avec une brosse mouillée et on étend un peu de mortier sur la moitié inférieure. Le mortier n'adhère pas à une surface sale ou

Figure 20. Manipulation des tuyaux en béton.



poussiéreuse, et craque et tombe si la surface est sèche. On creuse ensuite une excavation peu profonde à l'extrémité du tuyau, sous le joint, et on la remplit de mortier qui servira d'assise au joint entre le premier et le second tuyau. On introduit l'extrémité en languette du second tuyau dans la rainure du premier jusqu'à ce que le mortier déborde sur les parois extérieure et intérieure. On lisse alors la paroi intérieure du joint avec une brosse. On recouvre la paroi extérieure d'une couche de mortier. Ce procédé se répète pour la mise en place de toute la longueur du ponceau. Il faut conserver les joints toujours humides durant la cure du mortier. Le temps de cure minimum est de vingt-quatre heures (Figure 22).

Si on allonge les ponceaux existants lors d'un élargissement de la route, il faut prendre soin à ce que la nouvelle partie du ponceau repose sur une base ferme, et à ce qu'elle soit dans le même alignement et suive la même pente que le ponceau original. Avant de placer les nouvelles parties, il faut s'assurer que le ponceau original n'est pas obstrué par des débris et que ses joints sont bien étanches.

Remblayage des ponceaux de tuyaux en béton. Le remblai autour du conduit doit être complètement compacté afin d'éviter les détériorations par érosion et les tassements futurs. Si le remblayage se fait correctement, le ponceau garde son alignement et les joints ne se détériorent pas (Figure 23).

Figure 21. Couche d'assise des conduits en béton.

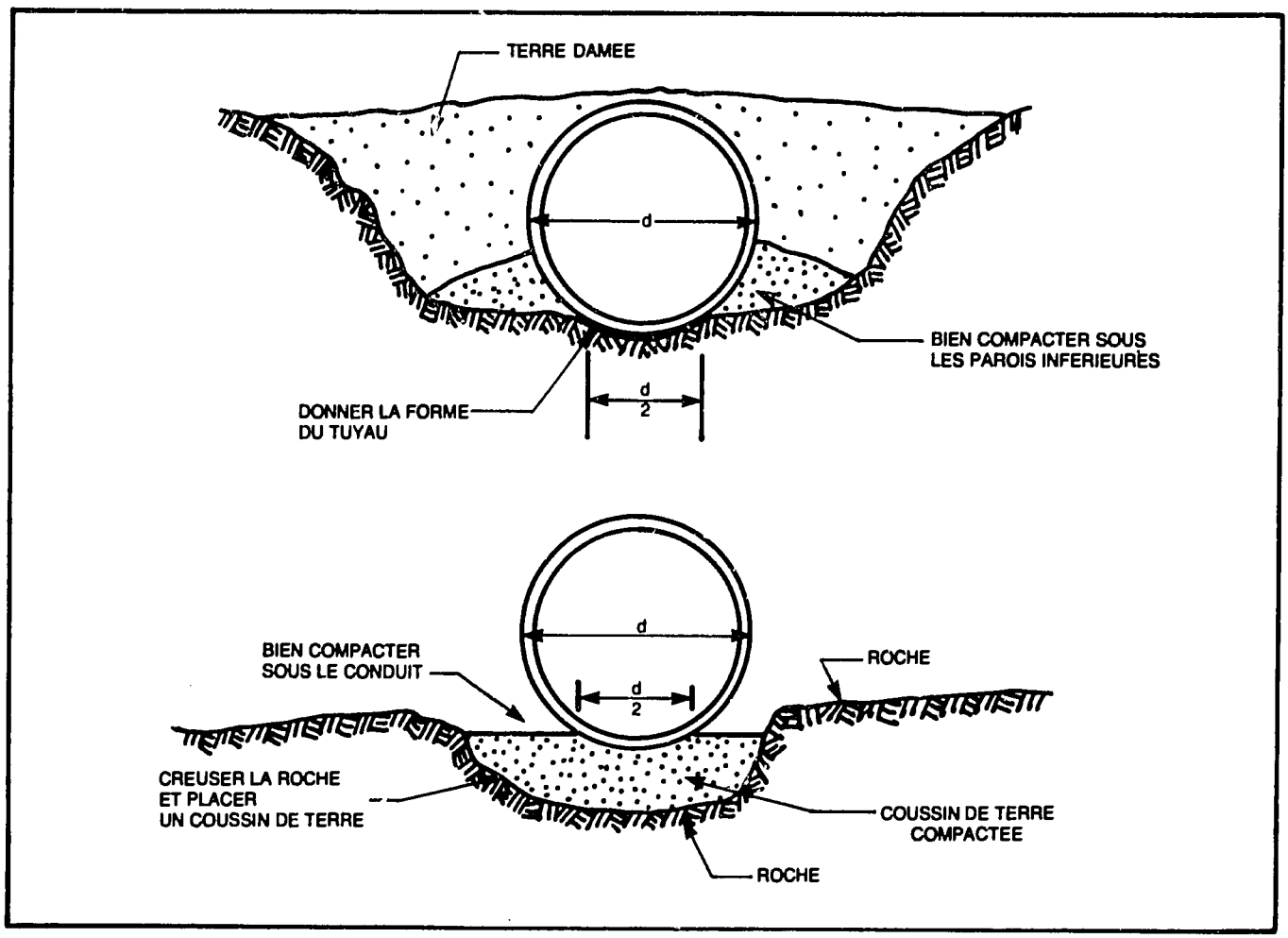
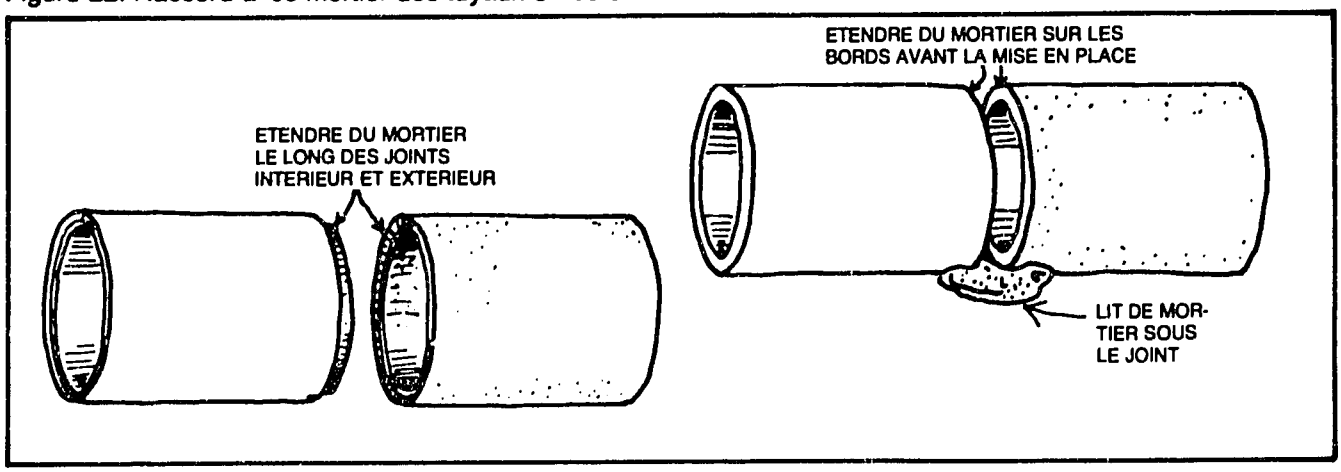
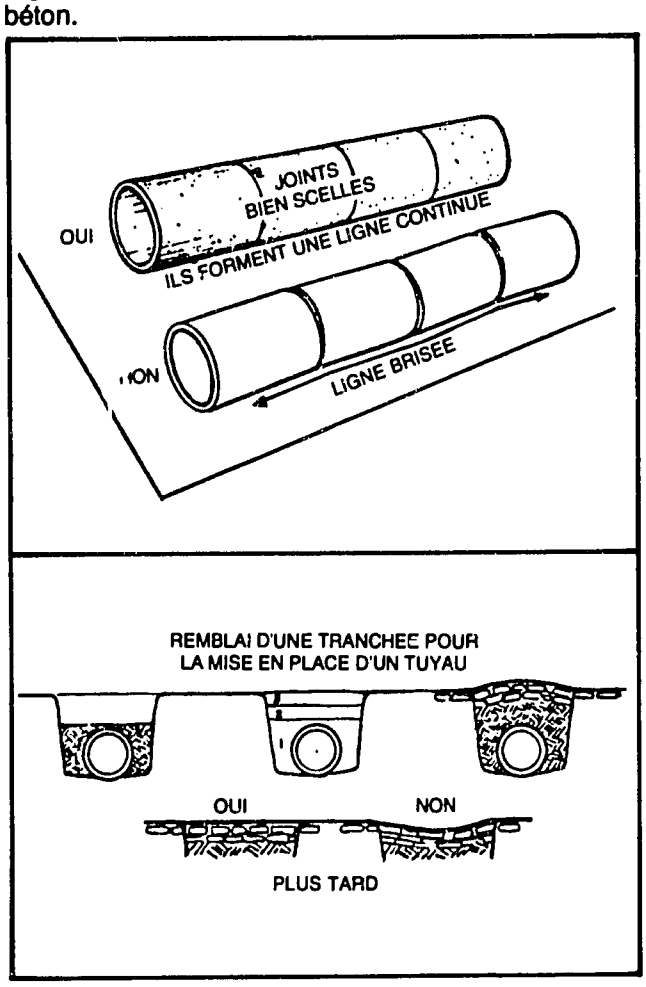


Figure 22. Raccord avec mortier des tuyaux en béton.



Comme matériau de remblai, on emploiera une terre propre et de bonne qualité, de préférence granulaire, et sans mottes, pierres, racines ni trop de matériau organique. On la déposera de chaque côté du tuyau, au moyen de pelles, en couches ne dépassant pas 10 cm d'épaisseur (mesure avant compactage), et on la compactera à la main, au dameur (si on dispose de pilons à air comprimé, on peut également les utiliser). Pour être efficaces, les dameurs à main ne doivent pas mesurer plus de 150 cm². Il faut prendre soin de placer et de compacter du matériau autour de la partie inférieure de la paroi du tuyau, afin de procurer un appui adéquat et une bonne distribution des charges. Après avoir compacté une couche, on la recouvre d'une couche additionnelle, tout en gardant à peu près la même hauteur de chaque côte du tuyau. Cette nouvelle couche est à son tour compactée, et le processus se répète jusqu'à ce que le tuyau soit recouvert par au moins 10 cm de matériau. Un recouvrement d'au moins 30 cm de matériau est à conseiller entre la paroi supérieure du tuyau et la surface de roulement, cependant la couverture doit toujours être suffisante pour protéger le conduit (Figure 24).

Figure 23. Alignement et remblai des conduits en béton.

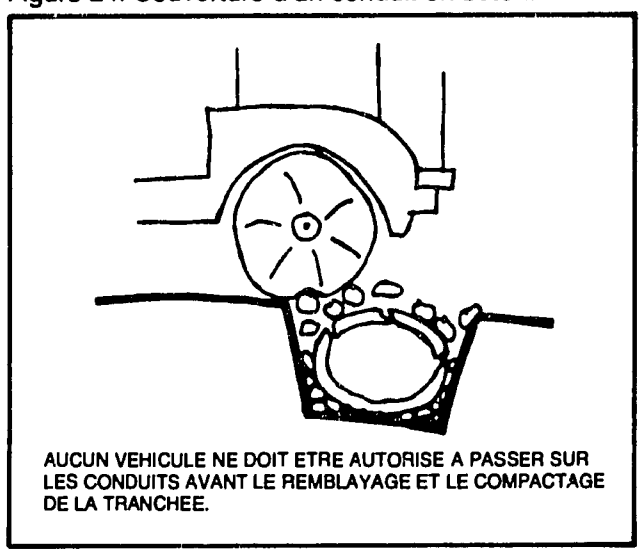


Le conducteur de travaux doit toujours se rappeler que la plus grande densité s'obtient lorsque le matériau a atteint sa teneur en eau optimum, qui se situe entre très humide et très sec. La compactation hydraulique ou l'inondation d'eau pour consolider le remblai n'est à conseiller que pour les matériaux très sableux ou très graveleux.

Buses en métal ondulé

Pour la construction de ponceaux, on préfère parfois les buses en métal ondulé car elles sont légères, s'abîment moins facilement lors de la manipulation, et sont faciles à

Figure 24. Couverture d'un conduit en béton.



assembler par des manoeuvres non qualifiés. En outre, sur les terrains mous, elles conviennent mieux que le béton ou la pierre. Elles existent en toute une gamme de longueurs et peuvent être assemblées par des bandes métalliques qui procurent un raccordement hermétique et durable. Le tuyau doit être suffisamment long pour éviter que le talus ne s'affaisse aux extrémités à découvert du ponceau. Dans de nombreux cas, surtout sur les terrains montagneux, le tuyau doit continuer à transporter l'eau jusqu'à une bonne distance du talus. Si on ne possède pas les plans des coupes transversales de la route, on peut déterminer la longueur du ponceau en ajoutant quatre fois la hauteur du remblai à la largeur de la route, mesurée du sommet d'un talus à l'autre. Cette formule se base sur un talus de pente 2:1, si le ponceau est perpendiculaire à la ligne de centre de la route.

Mise en place des buses en metal ondulé. La préparation de la tranchée est la même que pour les tuyaux en béton, mais les conduits en métal ondulé peuvent être placés plus rapidement et plus facilement que ceux en béton.

Une des phases les plus importantes de l'installation consiste à mettre en place et à compacter le remblai autour du conduit. Il faut procurer un appui latéral au tuyau pour qu'il puisse supporter le remblai et les charges mobiles sans flèche excessive. Ce support latéral ne s'obtient que par le compactage adéquat d'un bon matériau de remblai autour du tuyau. Le matériau doit être placé et compacté avec soin sous les parois latérales du conduit et doit s'accumuler de façon uniforme et simultanée des deux côtés. L'épaisseur des couches et les méthodes de remblayage et de compactage sont semblables à celles décrites pour le béton. On continue le processus de remblayage jusqu'à ce que la partie supérieure du conduit soit recouverte par au moins 30 cm de matériau, ce qui représente également l'épaisseur minimum de la couverture entre la partie supérieure du ponceau et la surface de la route.

Lorsque plusieurs lignes de tuyaux doivent être installées, il faut les espacer suffisamment pour permettre un bon damage du remblai entre les tuyaux et autour de chacun d'eux. Ils doivent être séparés par la plus petite des distances suivantes : au moins un demi diamètre de tuyau, ou 1 mètre.

Si l'on permet au matériel lourd de passer sur le ponceau durant la construction, le recouvrement doit avoir au moins 1,3 m de haut, car les engins peuvent générer des chocs intenses et soumettre le tuyau à des charges extrêmement préjudiciables. On peut éliminer la couverture en excès avant de revêtir.

Protection contre l'érosion

Les ponceaux et leurs environs immédiats sont les parties de la route les plus exposées aux détériorations causées par de fortes pluies. Les ponceaux sont souvent placés aux endroits où la voie d'eau se rétrécit le plus, mais les conditions économiques permettent rarement d'installer des ponceaux prévus pour les pires conditions climatiques. C'est pourquoi il arrive parfois que les zones d'amenée et de décharge, le talus au-dessus du ponceau et le ponceau lui-même soient endommagés et érodés. Pour réduire ces risques, il faut entraver le courant le moins possible. Le remblai doit être bien compacté autour des ponceaux afin d'éviter les filtrations au travers du talus. Lorsque l'eau coule à grande vitesse à travers le ponceau, il faut protéger les talus et construire des murs de tête (Figure 25). On construira également une rampe à l'extrémité de décharge du ponceau pour dissiper l'énergie de l'eau, et des murs parafouilles pour protéger contre l'affouillement; on placera un perré de protection aux endroits exposés à l'affouillement. Les zones exposées à un affouillement moins sévère peuvent être protégées par une couverture d'herbe. Pour une croissance rapide, dans les régions tropicales et subtropicales, on peut engazonner au lieu d'ensemencer. Afin d'augmenter la protection, on peut placer à la main un perré de roches dures et durables, dont au moins la moitié atteignent le poids maximum transportable par les manoeuvres. Lorsqu'on ne dispose pas de pierres, des sacs remplis d'un mélange de ciment et de sol peuvent être utilisés, soit comme protection de la pente, soit comme murs de tête. On obtient généralement un matériau adéquat, dur et résistant à l'érosion, par un mélange composé en poids de 90 à 85% de sol avec 10 à 15% de ciment. Il est souvent bon d'essayer plusieurs mélanges des matériaux utilisés pour déterminer quel est le plus économique.

L'accumulation des débris transportés par l'eau est une cause fréquente de mauvais fonctionnement ou de rupture des ponceaux. Si on prévoit que ce problème peut se présenter, on peut prendre certaines mesures pour le contrôler (7).

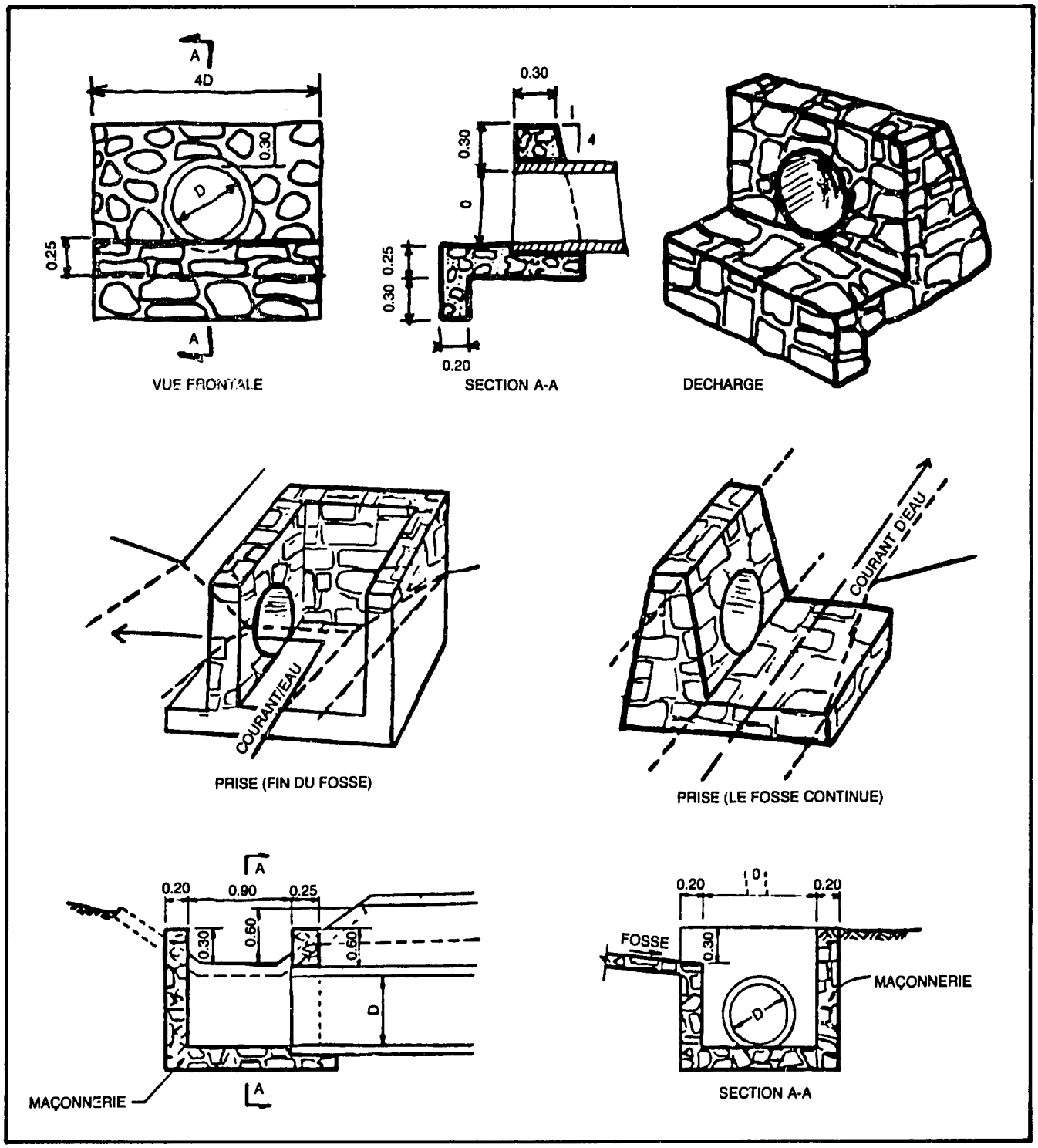
FRANCHISSEMENT DE COURS D'EAU PEU PROFONDS

La construction de gués, avec ou sans revêtement, et de radiers, est relativement peu onéreuse, ce qui compense jusqu'à un certain point l'inconvénient des délais dus à la montée des eaux. On construit généralement les gués qui traversent les rivières et ruisseaux peu profonds et saisonniers, en plaçant une dalle de béton en travers de leur lit. Il faut s'assurer que les dalles de béton ne seront pas rapidement détruites par la force d'érosion des courants rapides. On peut réduire la quantité de béton nécessaire en utilisant au maximum les pierres disponibles.

Dû à leurs caractéristiques de roulement, les gués ont une nette influence sur le trafic. S'ils ne sont pas construits, ainsi que leur accès, en pente douce, ils constituent un obstacle qui oblige les conducteurs à ralentir brusquement. L'alignement devrait toujours suivre la topographie, et les routes d'accès doivent être revêtues d'un matériau qui reste stable lorsqu'il est mouillé. Afin de ne pas altérer le courant, ces passages doivent s'adapter autant que possible au lit du ruisseau. L'épaisseur des dalles de béton dépend de la vitesse du courant et de la nature des matériaux charriés par le ruisseau lorsque les eaux sont hautes.

Dans le lit de certains ruisseaux, l'érosion devient un facteur important à cause de la rapidité du courant ou du type de matériaux dans le lit du ruisseau. Dans ces cas-là, il faut protéger le gué contre l'affouillement en construisant des rampes empierrées ainsi que des murs parafouilles. Les parafouilles ne sont toujours nécessaires dans les ruisseaux moins violents, car du côté amont du gué le fond du ruisseau tend à s'élever jusqu'au niveau du passage. L'érosion du côté aval peut être contrôlée ou réduite en plaçant de grosses pierres dans le lit du ruisseau (Figure 26). Lorsqu'on ne dispose pas de pierres, on peut employer des constructions plus coûteuses en béton. Lorsque l'érosion causée par une pluie plus forte que de coutume est telle qu'elle requiert des murs parafouilles très profonds, il est parfois plus indiqué de

Figure 25. Construction de murs de tête.



faire les réparations nécessaires que de se lancer dans des investissements si importants (8).

PONTS EN BETON ARME

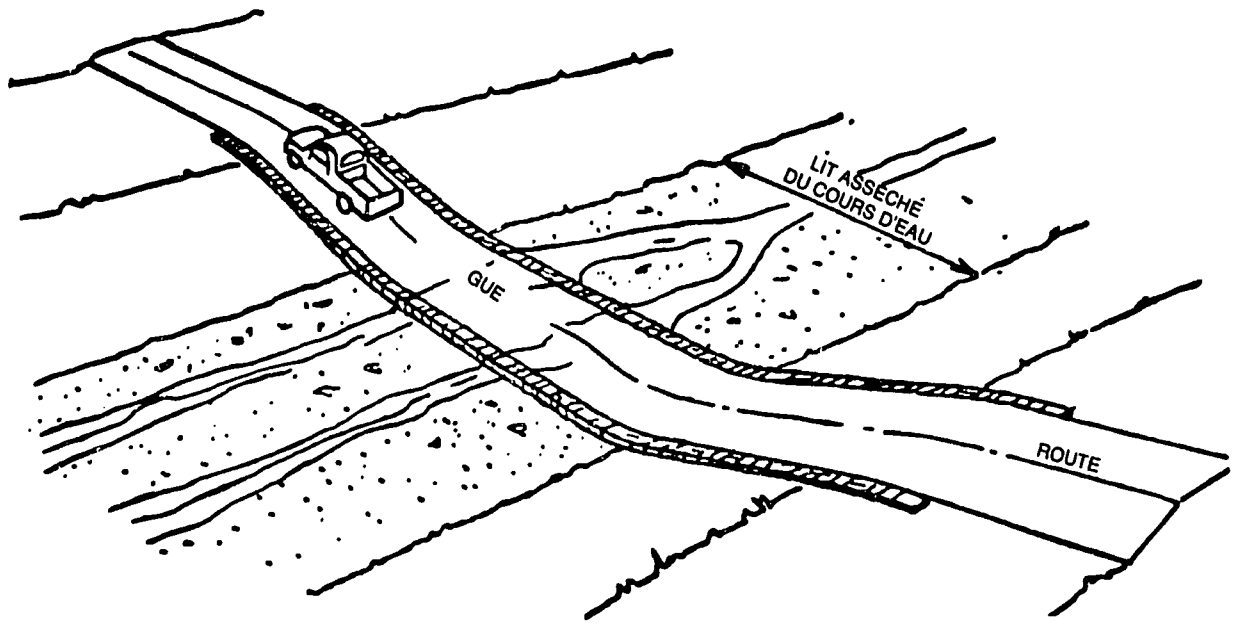
Généralités

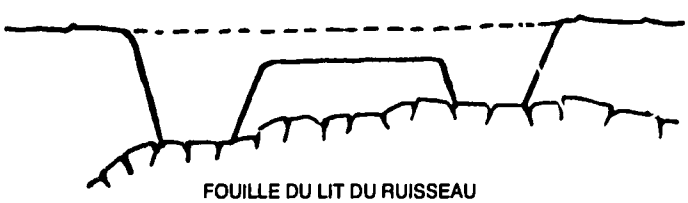
Comme les structures en béton armé requièrent toute une étude technique préliminaire pour leur conception et un personnel qualifié pour leur construction, on les construit rarement sur des routes économiques. Cependant, dans certains endroits où les ruisseaux sont profonds ou ont un courant très rapide, ou bien lorsqu'on ne dispose pas d'autres matériaux, le béton est le seul moyen pratique de franchir le cours d'eau.

Matériaux et matériel

En plus des matériaux et des engins nécessaires pour la construction de routes économiques, il faut de l'acier d'armature, du bois et des clous pour le coffrage, et un mélangeur à béton (bétonneuse).

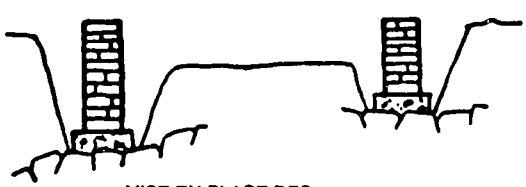
Figure 26. Franchissement de cours d'eau peu profonds.



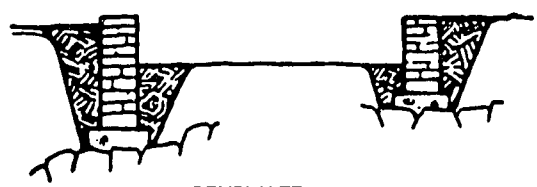


FOUILLE DU LIT DU RUISSEAU
(SECTION TRANSVERSALE)

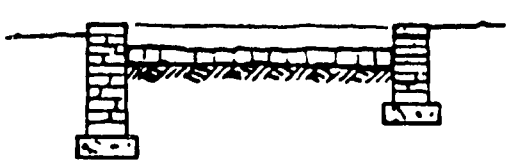
ON POSE LES PIERRES DANS L'EXCAVATION SUR UN LIT DE MORTIER,
EN PLACANT LES PLUS GRANDES DANS LE FOND



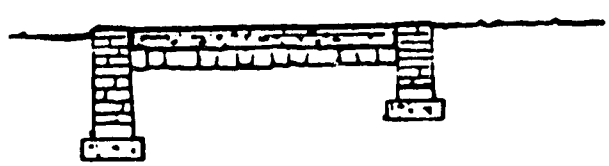
MISE EN PLACE DES
PIERRES DE CHAQUE
COTE DU GUE (MACONNERIE)



REMBLAI ET
COMPACTAGE



MISE EN PLACE DES PIERRES
DE LA SOUS-COUCHE



MISE EN PLACE DE L'ARMATURE
D'ACIER ET DE LA COUCHE DE BETON

Fondations

Les fondations sont soigneusement jalonnées selon les plans. Les fouilles pour les empattements représentent l'une des phases les plus critiques de la construction des ponts. Même si des spécifications préliminaires sur l'état des fondations ont été élaborées, les conditions réelles diffèrent souvent de ce qu'indiquent les plans. Les empattements doivent reposer sur une base solide. La roche en place est excellente, les sables et graviers denses sont bons et l'argile dure est généralement acceptable.

Le fond de la fouille doit être horizontal. Dans le cas d'une roche en pente, on peut construire un empattement en gradins. Lorsqu'on doute de la qualité du matériau de fondation, il faut consulter un ingénieur des ponts ou des fondations.

Lorsque le matériau de fondation est trop mou pour supporter la charge de l'ouvrage sans tassement, on y enfonce des pieux. Normalement, l'emploi de pieux est déterminé d'après les résultats des sondages du sous-sol réalisés avant le dimensionnement (*c*). Les pieux sont enfoncés par une batteuse de pieux jusqu'à ce qu'ils ne puissent avancer plus profondément (*d*). On les coupe ensuite au niveau de l'empattement et ils servent à porter la charge de l'empattement. Une fois la fondation préparée, le béton de l'empattement peut être coulé.

Coffrage et fausse charpente

Le coffrage contient le béton à l'état plastique et donne la forme voulue aux éléments de la construction. On le contruit généralement en bois ou en contreplaqué, mais on peut aussi employer d'autres matériaux. Il doit être suffisamment solide pour conserver sa forme initiale une fois rempli de béton fluide, et suffisamment étanche pour empêcher les fuites de mortier ou d'eau. Il faut le nettoyer de toute poussière ou de tout matériau avant d'y couler le béton. Les parois intérieures du coffrage doivent être huilées pour faciliter le décoffrage.

La fausse charpente sert à renforcer les coffrages et à les maintenir en place. Elle repose sur des longrines lorsque le sol est assez ferme, ou sur des pieux lorsqu'il est mou. Il faut s'assurer que la fausse charpente et ses supports ne peuvent pas être endommagées ni déplacées par les inondations ou par l'érosion. L'entretoisement doit empêcher tout mouvement dû à l'eau ou à une charge excentrique au cours du coulage du béton dans le coffrage. Si on emploie des étançons pour ajuster le tassement du coffrage, ils doivent être doubles et en bois dur.

Des marques sur le coffrage indiqueront toute déformation lors du coulage du béton. Toute rectification du coffrage doit avoir lieu avant que le béton ne commence à faire prise. Si ces déformations sont corrigées trop tard, le béton peut être définitivement endommagé.

Acier d'armature

Les barres d'acier d'armature sont installées dans le coffrage pour résister aux efforts de tension engendrés par les charges des pièces de charpente. La dimension des barres ainsi que leur emplacement doivent être soigneusement calculées avant la construction, et les barres doivent être placées exactement d'après les plans.

L'acier d'armature ne doit jamair être sur le sol, ni aux endroits ou les engins risqueraient de l'endommager ou de le plier. Avant de fixer l'acier d'armature dans le coffrage, il faut le nettoyer de toute la rouille, la graisse ou la poussière qui risqueraient d'affaiblir l'union entre l'acier et le béton. Les barres doivent être solidement fixées, à la distance requise des parois, de façon à ne pas bouger lors du coulage du béton. Juste avant de couler le béton dans le coffrage, il faut vérifier si les barres d'acier sont bien placées exactement comme l'indiquent les plans, y compris leur chevauchement à chaque jonction.

Béton

Le ciment, l'agrégat et l'eau pour la fabrication du béton sont malaxés dans les proportions correctes au moyen d'un mélangeur à béton. La quantité d'eau doit être strictement contrôlée. Le béton doit être juste assez fluide pour couler dans le coffrage et autour de l'armature sans laisser de vides, mais juste assez dur pour ne pas s'affaisser. Si on augmente la quantité d'eau, la résistance du béton diminue. Un excès d'eau entraîne aussi la ségrégation entre les agrégats et le mortier.

Manipulation et mise en place du béton

On transporte le béton du mélangeur au coffrage dans des brouettes ou dans d'autres récipients. Il faut constamment rester attentif à sa consistance et à la façon dont il est répandu et manipulé. Il faut éviter la ségrégation de l'agrégat, et le produit fini doit être bien consolidé. La surface du béton ne doit présenter aucune cavité due à la formation de bulles d'air ou d'eau contre le coffrage. En poussant le béton le long des parois verticales du coffrage au moyen d'une pelle, on élimine normalement les bulles d'eau et d'air. Il faut observer attentivement les coffrages afin de détecter les fuites, que l'on colmate immédiatement.

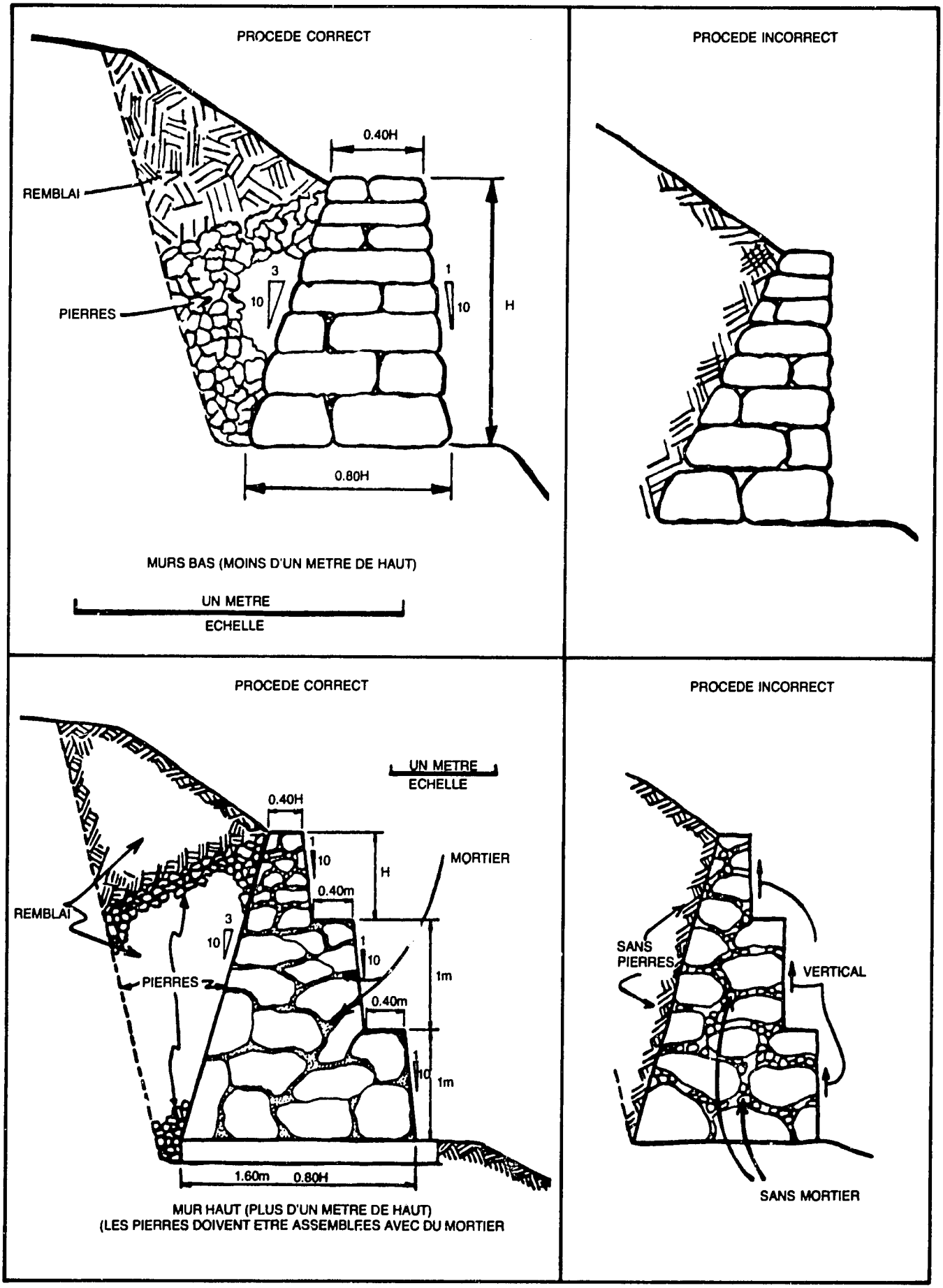
Le béton ne doit pas être versé au hasard à travers l'armature, ni coulé en un seul endroit d'où il devrait fluer sur de longues distances. Le procédé correct consiste à verser les gâchées successives de telle manière que le béton flue le long et autour de l'armature. Il doit ensuite être poussé au moyen d'une pelle dans la gâchée précédente, afin d'obtenir une bonne continuité. La dernière gachée de béton déchargée du mélangeur contient généralement trop de mortier. Immédiatement après avoir versé le béton, il faut le remuer à la pelle, mais pas au point de faire monter l'eau ou le mortier en excès jusqu'a la surface. Une fois le coulage du béton commencé, il faut le continuer jusqu'à la fin ou jusqu'à atteindre un joint prédéterminé de la construction.

Lorsqu'on coule le béton dans les fondations, il n'est pas toujours très pratique d'évacuer l'eau de ces dernières. Dans ce cas, il vaut mieux commencer par couler le béton dans un coin et continuer à le verser jusqu'à ce qu'il atteigne un niveau de loin supérieur à celui de l'eau. Au fur et à mesure qu'il s'étend, le béton devrait déplacer l'eau avec le moins de perturbation possible. Il ne faut jamais couler le béton dans de l'eau courante.

Cure du béton

Pour une bonne cure du béton, il faut contrôler l'humidité, la température et la protection contre toute perturbation. La température ne doit être contrôlée que lorsqu'elle approche du point de congélation, auquel cas le béton doit être protégé. Le béton fraîchement coulé doit être maintenu constamment humide pendant sept jours minimum. Lors-

Figure 27. Murs de soutènement en pierres sèches.



qu'on emploie des coffrages en bois, il faut les mouiller fréquemment afin d'éviter la formation de fissures qui occasionneraient une perte d'humidité du béton.

Le béton ne doit pas être perturbé ni chargé durant sa cure, car il risquerait de souffrir des dégâts permanents.

Décoffrage

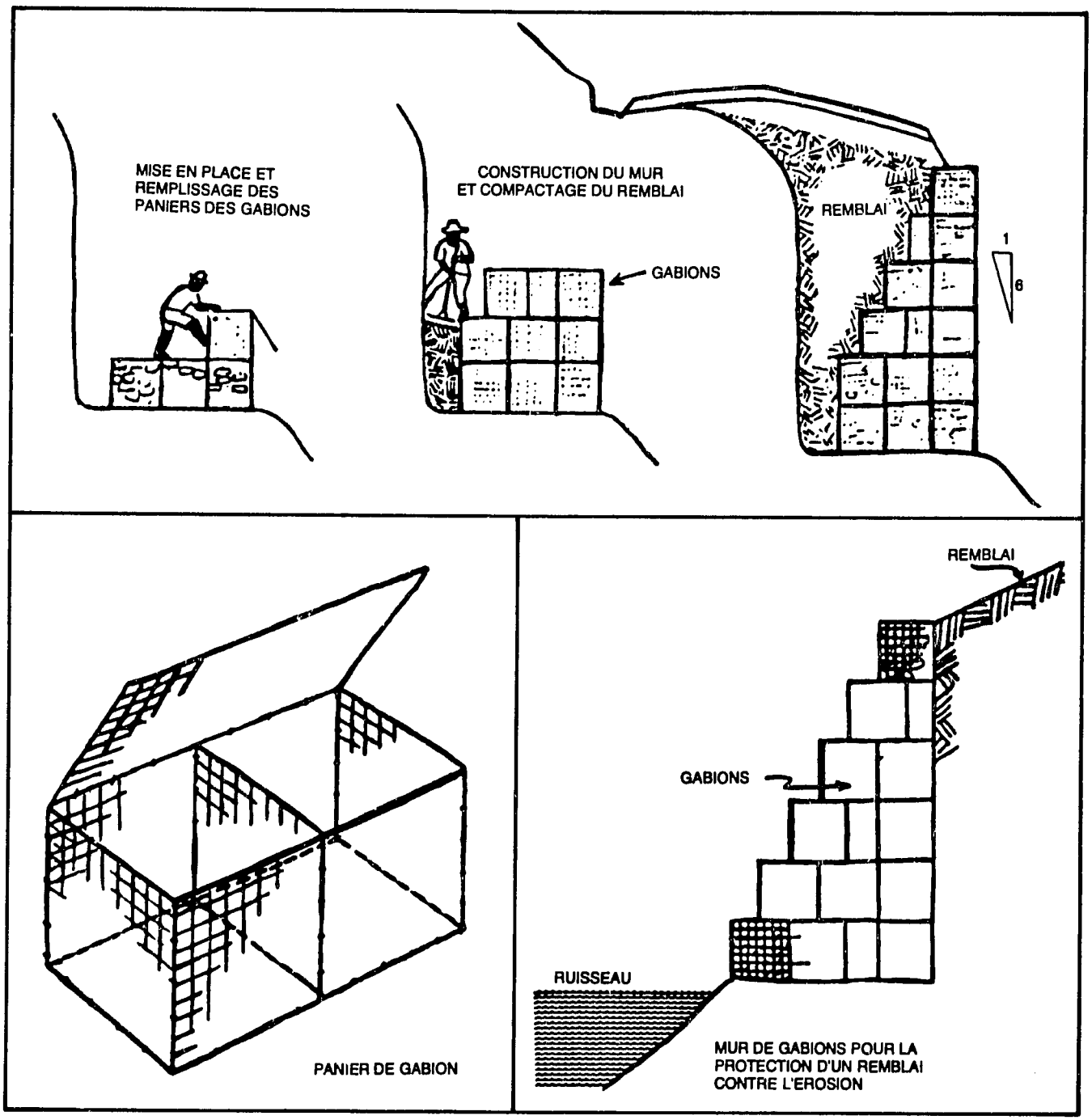
Le coffrage et les fausses charpentes ne doivent être enlevés qu'après la cure du béton, lorsque celui-ci a atteint la résistance nécessaire. La valeur de la résistance nécessaire varie en fonction de la partie de l'ouvrage dont il s'agit. Les surfaces verticales ne supportant aucune charge peuvent être décoffrées après deux jours de curage. Pour les poutres, tabliers et autres éléments supportant une charge, il faut attendre au moins 14 jours; on exige habituellement 28 jours de curage avant l'application de charges mobiles.

Les coffrages doivent être enlevés prudemment afin de ne pas endommager le béton. Les alvéoles et détériorations doivent être réparées immédiatement après le décoffrage.

BETON CYCLOPEEN

Le béton cyclopéen est un béton de maçonnerie bon marché mais de qualité inférieure. On l'utilise parfois pour construire des ouvrages simples, qui ne requièrent pas la solidité ni l'apparence du béton normal, comme par exemple des murs

Figure 28. Emploi des gabions.



de tête assez bas, des murs en aile, de petits murs de soutènement, des culées basses, des piles et d'autres ouvrages semblables.

On met en place des galets ou n'importe quelles pierres, ou bien on les pose dans un coffrage grossier, et on remplit les vides soit d'un béton de mortier, soit de fins agrégats. Les pierres tout-venant ne doivent généralement pas occuper plus de 50 pour-cent du volume total. En bouchant les grands vides avec de petites pierres, on réduit la quantité de béton ou de mortier nécessaire. Il faut s'assurer que le mortier remplit suffisamment les vides restants. Afin de se lier au béton, les pierres doivent être humides. Comme pour tous les ouvrages, les fondations doivent être solides et elles ne doivent pas être sujettent à des tassements différentiels. Ce genre de constructions est d'emploi assez limité. Elles conviennent surtout pour des charges verticales, mais leur résistance aux poussées horizontales n'est pas très élevée.

MURS DE SOUTENEMENT EN PIERRES SECHES

Sur les terrains montagneux, les routes doivent souvent être retenues par des murs de soutènement. Les murs en pierres sèches sont parmi les moins coûteux (Figure 27). Ces murs ne contiennent pas de mortier pour unir les pierres. Dans les régions montagneuses, on dispose généralement de pierres ou de roches; aucun autre matériau n'est nécessaire, sauf des pierres et de la terre pour un remblai. Les équipes de travail qui possèdent une certaine expérience dans l'empierrement de fossés et la construction de murs de tête de drainage, peuvent normalement élever des murs de soutènement à sec.

On construit le mur avant la mise en place du remblai de la route. Une fouille peut être nécessaire pour assurer une fondation solide, et elle doit s'effectuer sur un sol qui n'a pas été manipulé auparavant. Si les matériaux extraits de la fouille peuvent etre réutilisés pour le remblai, on les entasse à côté de l'excavation. Le fond de la fouille doit être bien compacté avant la pose de la première couche de pierres.

Le mur doit être construit de façon à ce que les pierres se touchent l'une l'autre et à ce que leur plus grande dimension soit perpendiculaire au talus. Il faut placer les plus grandes pierres à la base du mur. Les vides entre les pierres doivent être bouchés par des cailloux.

Une fois le mur terminé, on remblaie l'excavation en compactant par couches de 10 à 15 cm. Le remblai tout contre le mur doit être un remblai de pierres, afin de faciliter le drainage.

GABIONS

Les gabions sont des récipients en mailles de fil de fer, soit cylindriques, soit en forme de paniers, que l'on remplit de pierres. Ils peuvent servir de murs de soutènement, à contrôler l'érosion ou à d'autres usages (Figure 28). Lorsqu'on dispose de pierres, ils sont économiques à installer et se prêtent à un emploi maximum de main-d'oeuvre.

ENTRETIEN

Une route construite selon la méthode d'aménagement progressif ne possède pas tous les éléments caractéristiques d'un projet dûment terminé. Certaines caractéristiques qui réduiraient l'entretien nécessaire sont omises. Seules les plus essentielles, indispensables aux besoins immédiats de transport sont fournies.

Après une nouvelle phase d'aménagement, la route devra souvent servir dans son état actuel pendant plus longtemps que prévu, quels que soient les besoins de son volume de trafic grandissant. D'autre part, les moyens économiques très limités empêchent souvent de procurer l'entretien permanent nécessaire à toute route dès sa construction. Une fois terminée, la route devrait être inspectée en vue d'un entretien préventif. La détection et la correction, à temps, des petits problèmes réduit les coûts d'entretien futurs et allonge considérablement la durée de service de la route. Les nombreuses corrections nécessaires sont plus évidentes juste après la première saisons des pluies qui suit l'achèvement du projet.

Il faut tout particulièrement remédier aux affouillements excessifs de la surface de roulement, à un ruisselement trop important sur les talus, au bloquage des caniveaux et des fossés, à la nécessité de ponceaux additionnels et à l'affouillement et l'érosion au voisinage des ponceaux, rigoles et ponts. Les problèmes les plus courants concernent l'érosion par l'eau. Et le remède le plus commun consiste à fournir un drainage adéquat.

REFERENCES

1. O'Reilly, M.P. et Millard, R.S. *Roadmaking Materials and Pavement Design in Tropical and Subtropical Countries.* Transport and Road Research Laboratory, Crowthorne, Angleterre. L.R. 279, 1969.
2. Oglesby, Clarkson H. *Costa Rica Report.* Systan International Inc., Los Altos, California. Memorandum interne, No. 14, 1978.
3. *Opportunities for Cost Reduction in the Design of Transport Facilities for Developing Regions.* University of California, Institute of Transportation and Traffic Engineering, Berkeley, California, 1970, 406 p.
4. Lubina, Allen F. et Panfil, Robert N. *Pavement Design and Staging for Mayan Roads.* Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol. 97, No. TE4, novembre 1971, pp. 651-666.
5. *Geometric Design Standards for Low-Volume Roads.* TTSDC Compendium 1. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1978, 297 p.
6. *Drainage and Geological Considerations in Highway Location.* TTSDC Compendium 2. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1978, 334 p.
7. *Small Drainage Structures.* TTSDC Compendium 3. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1978, 297 p.
8. *Low-Cost Crossings.* TTSDC Compendium 4. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979, 176 p.
9. *Roadside Drainage.* TTSCD Compendium 5. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979, 196 p.
10. *Investigation and Development of Materials Resources.* TTSDC Compendium 6. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979, 220 p.
11. *Road Gravels.* TTSDC Compendium 7. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979, 195 p.
12. *Chemical Soil Stabilization.* TTSDC Compendium 8. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979, 238 p.
13. *Control of Erosion.* TTSDC Compendium 9. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979, 316 p.
14. *Compaction of Roadway Soils.* TTSDC Compendium 10. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979, 249 p.
15. *Maintenance of Unpaved Roads.* TTSDC Synthesis 1. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1979.
16. *Low-Volume Roads.* Special Report 160. Compte rendu d'une réunion tenue à Boise, Idaho, du 16 au 19 juin 1975. Transportation Research Board, National Academy of Sciences, Washington, D.C., 1975, 396 p.
17. *Training Manual. Labor Intensive Operations. The Agriculture Feeder Roads Project.* Gouvernement de la République de Haïti, Ministères des Travaux Publics, Transports et Communications (Tippetts-Abbett-McCarthy-Stratton, New York), juillet 1979.

PUBLICATIONS DU PROJET

Les publications citées ci-dessous, ont été produites dans le cadre du projet "Technologie des transports à l'usage des pays en voie de développement" et peuvent être commandées au TRB aux prix indiqués, qui incluent les frais d'envoi par voie maritime. Addresser les commandes au

Transportation Research Board
National Research Council
2101 Constitution Avenue, N.W.
Washington, DC 20418, U.S.A.

Synthèse 1 : L'entretien des routes non revêtues. $6.00
Synthèse 2 : Amenagement progressif. $6.00
Synthèse 3 : Construction et entretien des routes à faible capacité avec emploi de main-d'oeuvre. $6.00

.....

Recueil 1 : Normes de dimensionnement géométrique pour routes à faible capacite. $12.00
Recueil 2 : Considérations sur les facteurs de drainage et de géologie qui influencent le choix de l'emplacement d'une route. $12.00
Recueil 3 : Petits ouvrages de drainage. $12.00
Recueil 4 : Ouvrages de franchissement d'eau économiques. $9.00
Recueil 5 : Drainage des bas-côtés de la route. $9.00
Recueil 6 : Investigation et développement des gisements de matériaux routiers. $10.50
Recueil 7 : Les graviers. $9.00
Recueil 8 : La stabilisation chimique des sols. $10.50
Recueil 9 : Contrôle de l'érosion. $12.00
Recueil 10 : Le compactage des sols routiers. $10.50

REMARQUE : Les synthèses 1, 2 et 3 sont publiées séparément en anglais, français et espagnol.
Les recueils I à 10 ont été publiés en anglais, avec un exposé en anglais, français et espagnol.