

## GUIDE PRATIQUE

# Références géométriques pour les routes forestières et les pistes de débardage

1999



Office fédéral de l'environnement,  
des forêts et du paysage (OFEFP)



## **GUIDE PRATIQUE**

**Références  
géométriques pour  
les routes forestières  
et les pistes de  
débardage**

**1999**

## Impressum

<b>Editeur</b>	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP)
<b>Direction du projet</b>	Hans Rudolf Heinimann, professeur en génie forestier, EPF Zurich
<b>Auteurs et réalisation</b>	Hans Rudolf Heinimann, professeur en génie forestier, EPF Zurich Othmar Bürgi, EPF Zurich Stefan Rechberger, EPF Zurich
<b>Suivi du projet</b>	Walter Schwab, OFEFP Silvio Schmid, OFEFP
<b>Traduction</b>	Yves Berger, 2017 Boudry
<b>Titre de la version allemande</b>	"Geometrische Richtwerte von Waldwegen und Waldstrassen"

<b>Commande</b>	Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage Documentation 3003 Berne Fax + 41 (0)31 324 02 16 E-mail: docu@buwal.admin.ch Internet: <a href="http://www.admin.ch/buwal/publikat/ff/">http://www.admin.ch/buwal/publikat/ff/</a>
<b>Numéro de commande</b>	VU-7012-F
<b>Prix</b>	Fr. 8.-- (TVA incluse) © OFEFP 1999

# Table des matières

Avant-propos.....	4
Résumé.....	5
<b>1 Introduction.....</b>	<b>6</b>
<b>2 État des connaissances - analyse de la réglementation en vigueur.....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Éléments géométriques déterminants pour la construction d'installations de desserte.....</b>	<b>8</b>
<b>2.2 Tracé vertical.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 <i>Pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières.....</i>	<i>9</i>
2.2.2 <i>Pente longitudinale maximale admissible pour les pistes de débardage et d'exploitation.....</i>	<i>14</i>
2.2.3 <i>Conclusions essentielles.....</i>	<i>15</i>
<b>2.3 Profil en travers.....</b>	<b>15</b>
2.3.1 <i>Largeur de la chaussée des routes forestières.....</i>	<i>16</i>
2.3.2 <i>Largeur des pistes de débardage.....</i>	<i>17</i>
2.3.3 <i>Revêtement des routes forestières.....</i>	<i>18</i>
2.3.4 <i>Conclusions essentielles.....</i>	<i>19</i>
<b>3 Critères pour la détermination des éléments géométriques.....</b>	<b>20</b>
<b>3.1 Conditions juridiques.....</b>	<b>20</b>
<b>3.2 Tracé vertical.....</b>	<b>20</b>
3.2.1 <i>Pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières.....</i>	<i>20</i>
3.2.2 <i>Pente longitudinale maximale admissible pour les pistes de débardage.....</i>	<i>25</i>
<b>3.3 Profil en travers.....</b>	<b>26</b>
3.3.1 <i>Largeur des routes forestières.....</i>	<i>26</i>
3.3.2 <i>Largeur des pistes de débardage.....</i>	<i>28</i>
3.3.3 <i>Revêtement de la chaussée des routes forestières.....</i>	<i>29</i>
<b>4 Adaptation des valeurs de référence à l'état de la technique.....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Objectifs.....</b>	<b>32</b>
<b>4.2 Pentés longitudinales et largeurs de chaussée.....</b>	<b>32</b>
4.2.1 <i>Valeurs de référence pour les routes forestières.....</i>	<i>32</i>
4.2.2 <i>Valeurs de référence pour les pistes de débardage.....</i>	<i>33</i>
<b>4.3 Revêtement de la chaussée.....</b>	<b>34</b>
<b>5 Conclusions et perspectives.....</b>	<b>35</b>
Bibliographie.....	37
Index.....	42

## Avant-propos

Le travail en forêt et l'évacuation des bois nécessitent une desserte appropriée. Les routes forestières et les pistes de débardage constituent la colonne vertébrale de la desserte des forêts. Différents facteurs régissent le choix de la géométrie - largeur ou pente - des chemins, comme l'aspect du paysage, le type de véhicule, la sécurité ou les exigences en matière de transport.

Les directives en vigueur concernant l'aménagement des routes et chemins sont basées sur l'état des techniques de transport des années 60. Depuis, la technologie des transports a beaucoup évolué. Les machines disposent de meilleurs freins et d'un moteur plus puissant. Les méthodes de transport des bois ont changé. On peut donc se demander si les directives sont encore actuelles. La pente maximale de 12 % pour les routes forestières subventionnées a été remise en question. C'est pourquoi la Direction fédérale des forêts a chargé la Chaire de génie forestier d'effectuer une étude à ce sujet. Le présent document étudie les références géométriques et propose des modifications.

La circulaire 11 de la Direction fédérale des forêts qui règle le subventionnement des dessertes forestières a déjà été adaptée aux nouvelles connaissances.

Office fédéral de l'environnement, des forêts et du  
paysage

Directeur fédéral des forêts

Heinz Wandeler

## Résumé

Les routes forestières constituent la base indispensable de tous les processus de transport liés à l'exploitation et à l'entretien des forêts. Jusqu'ici, des directives contraignantes ont assuré une bonne planification et une bonne réalisation des installations de desserte. Les directives en vigueur sont cependant basées sur l'état de la technique des transports des années 60.

Le présent rapport traite des éléments géométriques des routes et chemins forestiers. Il tente de répondre aux questions en suspens dans le domaine des pentes longitudinales maximales admissibles, des largeurs et des revêtements des routes forestières et des pistes de débardage, et d'offrir des valeurs de référence applicables de manière flexible.

La présente étude porte essentiellement sur trois domaines:

- état des connaissances et analyse de la réglementation en vigueur;
- identification des critères déterminants pour la pente, la largeur et le revêtement de la chaussée;
- définition de valeurs de référence d'application flexible adaptées aux conditions actuelles.

Les éléments géométriques de l'aménagement des routes et chemins forestiers sont examinés de manière critique et comparés avec les recommandations pratiques des pays voisins. Le choix de ces valeurs de référence est explicité.

Les critères déterminants sont indiqués pour les trois domaines. Des modèles ont été utilisés pour tenter de montrer quels critères influencent les éléments géométriques et quels sont leurs effets quantitatifs.

Nous avons essayé de définir des valeurs de référence flexibles pour la pente maximale admissible sur la base de modèles. Ces valeurs de référence peuvent être déterminées de cas en cas à l'aide de certains critères. La limite rigide de 12 % appliquée jusqu'ici est ainsi dépassée. La largeur minimale des routes forestières subit quelques petites modifications par rapport à la réglementation en vigueur. Elle est dorénavant fixée à 3,2 - 3,3 m. Pour des raisons de dynamique du trafic, ce minimum devrait être respecté. Une proposition est faite pour compléter les aides à la décision existantes et pondérer les facteurs influençant le choix du revêtement de la chaussée.

Quelques questions restent ouvertes. Des études supplémentaires devraient être réalisées au sujet de l'adhérence des véhicules sur la chaussée. Les répercussions des intempéries exceptionnelles ou des salissures du revêtement sur l'adhérence ne peuvent être quantifiées avec précision. La sensibilité à l'érosion des couches de fermeture d'argile à l'eau ne peut être déterminée de façon conclusive, du fait que l'interaction des différents facteurs influents ne peut être quantifiée.

# 1 Introduction

Une desserte judicieuse et suffisante des forêts constitue l'une des conditions à l'exercice d'une sylviculture par petites surfaces et proche de la nature telle qu'elle est pratiquée en Suisse. Les routes forestières forment la base indispensable de tous les processus de transport liés à l'exploitation et à l'entretien ; elles assurent l'accès au peuplement et offrent également des places de façonnage et d'empilage pour le bois récolté (HIRT, 1992).

L'Inventaire forestier national de 1995 indique que la longueur totale des routes forestières ayant une fonction de desserte et de transport est de quelque 30'000 km, ce qui correspond à une densité moyenne de 26 m'/ha. La densité de la desserte diffère fortement d'une région à l'autre. Si elle atteint 17 m'/ha dans les Préalpes, elle n'est que de 12 m'/ha dans les Alpes et même de 8 m'/ha seulement au sud des Alpes.

Les directives contraignantes ont assuré jusqu'ici une bonne planification et réalisation des installations de desserte. La réglementation antérieure en ce qui concerne le tracé de l'axe des routes et l'aménagement des profils en travers de la chaussée respectait les normes de l'Union des professionnels suisses de la route (VSS, 1983) et les mémorandums de la Communauté suisse pour la construction de routes forestières (SAFS, 1989).

Le profil géométrique des installations destinées au trafic ressort principalement des caractéristiques du véhicule déterminant. Le camion est le véhicule critique pour la géométrie des routes forestières.

Les directives en vigueur sont basées sur l'état de la technique des transports des années 60. Le progrès technique rapide et l'adaptation progressive des prescriptions nationales aux directives de l'Union européenne exigent le réexamen et la modification éventuelle des dispositions en vigueur. La pente maximale admissible et la largeur des routes forestières et des pistes de débardage, de même que le revêtement des routes forestières, doivent être revus de manière critique.

L'objectif du rapport consiste (1) à analyser l'état de la technique et (2) à adapter – si nécessaire - les valeurs de référence aux conditions actuelles. Les prescriptions relatives aux exigences techniques des véhicules routiers ont été progressivement adaptées aux prescriptions européennes au cours des trente dernières années. L'ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers (OETV) est entrée en vigueur le 19 juin 1995. Elle a remplacé l'ancienne ordonnance sur la construction et l'équipement des véhicules routiers (OCE). On s'est penché en particulier sur les points suivants:

1. Quelles sont les recommandations pratiques existantes dans les pays voisins dont les conditions sont comparables et sur la base de quels critères ont-elles été établies?
2. Quels sont les critères juridiques et techniques déterminants pour les pentes longitudinales maximales admissibles pour les routes forestières et les pistes de débardage?
3. Les pentes longitudinales peuvent-elles être déterminées par une méthode exacte sur la base de facteurs physiques?
4. Quelle est l'influence des critères de praticabilité comme la durabilité, la sécurité ou le confort du trafic?

5. Quels sont les critères déterminants pour la largeur des routes forestières et des pistes de débardage?
6. Quels sont les facteurs qui définissent le choix du revêtement de la chaussée? Leur influence peut-elle être quantifiée?

L'approche suivante a été choisie pour répondre à ces questions : l'état des connaissances est présenté au chapitre 2 et les valeurs de référence en vigueur y sont analysées et comparées avec celles des pays voisins. Les facteurs déterminants pour la pente, la largeur et le revêtement de la chaussée sont décrits au chapitre 3 et des valeurs limites sont déterminées à l'aide de méthodes quantitatives. Le chapitre 4 propose des valeurs de référence adaptées et flexibles et discute les conséquences de leur application pratique. Le chapitre 5 constitue une synthèse avec quelques conclusions et met en exergue les questions ouvertes.

## 2 État des connaissances – analyse de la réglementation en vigueur

Les routes et les chemins destinés à la desserte forestière doivent être tracés et construits de manière à répondre aux exigences de trafic existantes ou prévisibles, aux nécessités de l'exploitation et aux impératifs de la protection de la nature et du paysage. Les facteurs déterminants pour le dimensionnement des routes sont en particulier la nature et la densité du trafic, les dimensions maximales des véhicules de transport et la vitesse prévue. Les installations sont construites de manière à permettre une durée d'utilisation aussi longue que possible et des frais d'entretien modestes, en tenant compte d'un coût de construction ou d'aménagement économiquement supportable.

### 2.1 Éléments géométriques déterminants pour la construction d'installations de desserte

La géométrie des routes et chemins englobe le tracé et le profil en travers (figure 1). Le tracé se caractérise par les axes horizontal et vertical de la route. Le tracé, la pente et les profils en travers déterminent la situation d'une route dans le terrain (KUONEN, 1983).

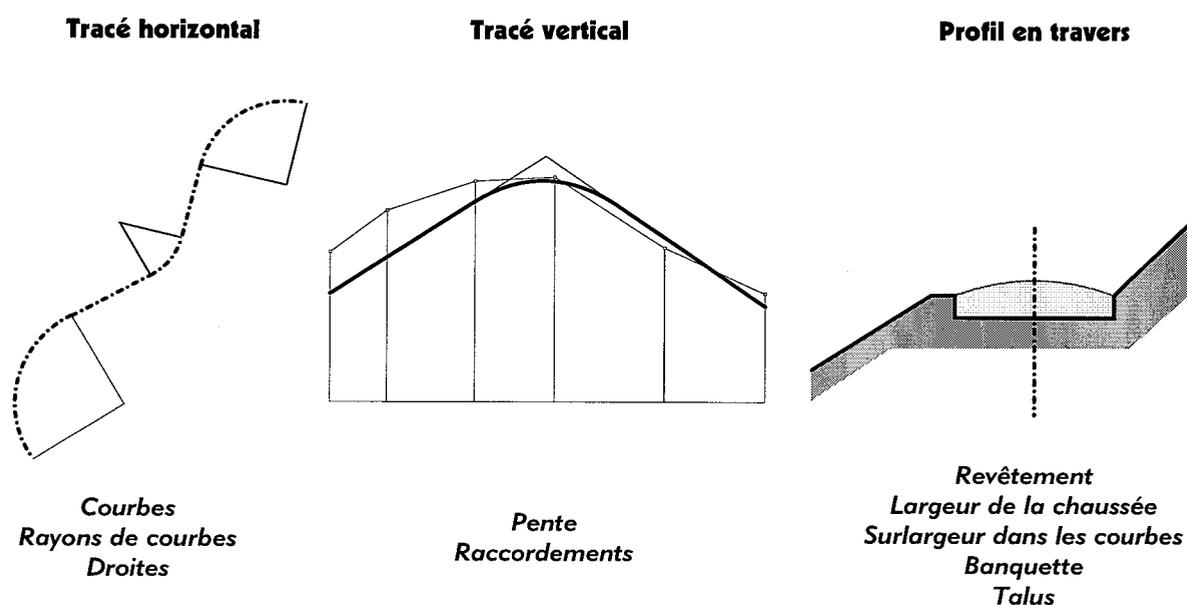


Fig. 1: **Éléments géométriques déterminants pour la construction d'installations de desserte.** La situation d'une route dans le terrain est déterminée par son tracé horizontal et vertical et par la définition du profil en travers.

Le *tracé horizontal* illustre la projection de l'axe de la route sur le plan horizontal (plan x, y). Il constitue le plan de situation et consiste en droites suivies de courbes tangentielles, courbes qui sont définies en Suisse comme des arcs de cercle. Le *tracé vertical* est une projection de l'axe de la route sur la surface perpendiculaire au plan horizontal et dont le parcours est déterminé par le tracé horizontal. La projection verticale est considérée comme un plan déterminé par la longueur de la route (l) et sa hauteur (z) (plan l, z). Le tracé vertical est représenté par des droites à pente constante et des courbes qui leur sont tangentielles (paraboles, cercles). Le profil en travers décrit la forme géométrique de la route perpendiculairement à son axe. Il fixe les dimensions des différentes composantes de la route (chaussée, talus, banquettes, ouvrages d'art).

Les considérations qui suivent n'examinent pas plus en détail le tracé horizontal de la route (droites, courbes, rayons de courbes), du fait que les principes reconnus ont été discutés en détail (KUONEN, 1983) et que la maniabilité (rayon de braquage) des véhicules n'a pas énormément changé.

## 2.2 Tracé vertical

Les éléments du tracé vertical (pentes et raccordements) ont été abondamment discutés dans la littérature forestière et fixés dans les directives correspondantes. La pente longitudinale maximale admissible pour les routes et chemins est toutefois de plus en plus contestée. Les arguments principaux consistent dans le fait que l'augmentation de la pente maximale admissible permet des économies (raccourcissement de la route) et une réduction des atteintes écologiques (moins de perte de surface, effets de morcellement moins importants). Le principe de prévoir autant que possible des pentes modérées (< 10 %) pour des raisons de maintien de la route et de sécurité du trafic n'est pas remis en question. Les pentes inférieures à 2 - 3 % doivent également être évitées du fait que les routes forestières plates munies d'une couche d'usure gravelée ont tendance à former des nids-de-poule (LIENERT, 1983).

### 2.2.1 Pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières

Les directives en vigueur pour la pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières sont basées sur les normes VSS (1983) qui prescrivent la valeur de 12 % pour une vitesse prévue de 40 km/h. Le Mémoire n° 111 de la Communauté suisse pour la construction de routes forestières propose et commente également une valeur limite pour la pente longitudinale admissible (SAFS, 1989). En se fondant sur la diminution de la sécurité du trafic à la montée et à la descente et sur les dégâts d'érosion excessifs à la chaussée, la pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières est fixée à 10 %, exceptionnellement à 12 %. Dans ses directives internes (EMA, 1989), l'Office fédéral des améliorations foncières prévoit, pour les routes rurales avec transport de bois, une pente maximale de 12 % dans des conditions normales, mais de 15 % dans des conditions topographiques difficiles (figure 2).

Une comparaison des valeurs de référence suisses avec celles des pays voisins de l'arc alpin (figure 2) montre les concordances suivantes:

- les pentes maximales admissibles dans les cas normaux en Allemagne, en Autriche et en France correspondent aux valeurs de référence suisses;
- aussi bien l'Allemagne que l'Autriche prévoient des pentes maximales plus élevées dans des conditions topographiques particulièrement difficiles (régions de montagne) ainsi que pour les routes qui ne sont pas ouvertes en hiver.

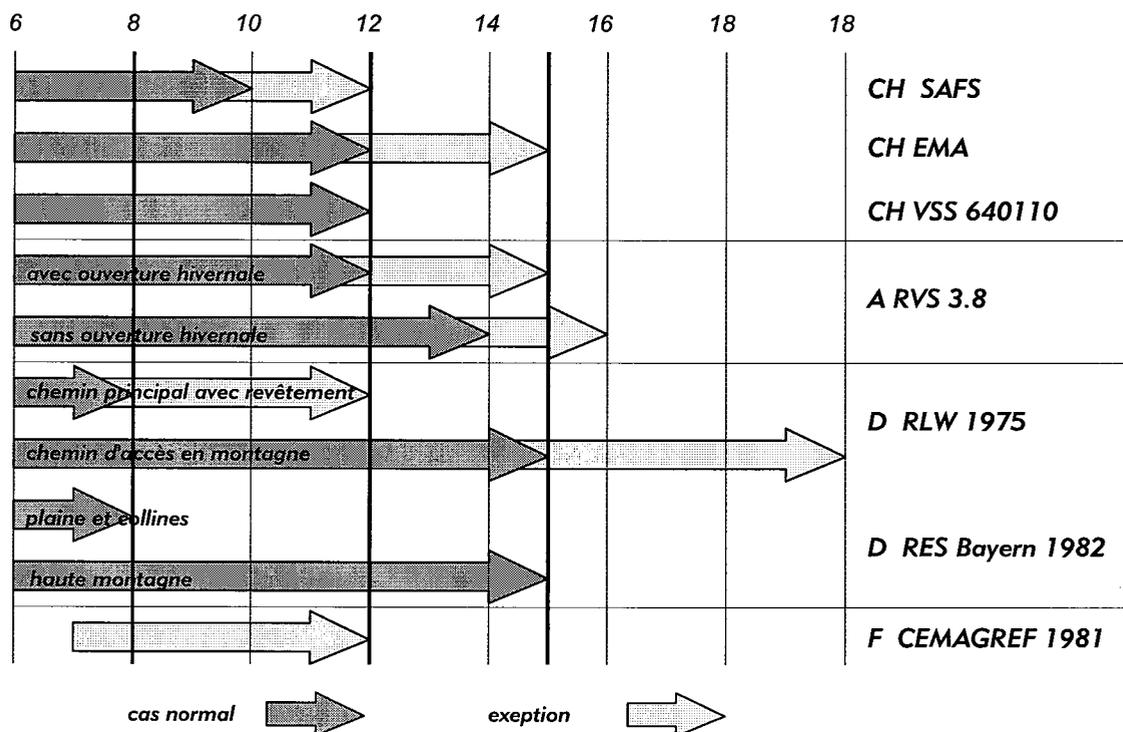


Fig. 2: Valeurs de référence pour la pente maximale admissible pour les routes forestières en %. Les valeurs de référence des pays alpins voisins sont presque identiques à celles de la Suisse. L'Allemagne et l'Autriche prévoient cependant des pentes longitudinales parfois nettement plus élevées dans des conditions difficiles.

Différentes réflexions justifient la limite de 12 % pour la pente longitudinale maximale. Trois facteurs sont examinés plus en détail ci-après:

- l'évolution historique des valeurs limites pour les pentes longitudinales;
- l'influence de l'exploitation et de l'entretien de la route;
- les performances à la montée des camions modernes de transport des bois.

Dès les débuts de la planification de la desserte forestière, la pente longitudinale maximale admissible a fait l'objet de réflexions. La technique de transport de l'époque était basée exclusivement sur la traction automobile, raison pour laquelle l'enseignement forestier demandait des pentes longitudinales modérées. Les valeurs de référence proposées entre autres par PFEIL (1831) et GAYER (1863) prévoyaient des pentes limites de 6 à 8 %. Mais, dans sa directive pour les cours de gardes forestiers du canton de Berne, FANKHAUSER (1866) différenciait déjà les transports à la montée et à la descente et préconisait des pentes plus raides lorsque le transport se faisait uniquement à la descente. DOTZEL (1898) déclarait dans son manuel de construction de routes et chemins de fer forestiers qu'il n'était pas possible de fixer une valeur universelle pour la pente longitudinale maximale. Il arrivait à la conclusion que les chemins forestiers qui sont utilisés uniquement à la descente par les convois chargés peuvent présenter une pente longitudinale maximale de 12 %. A la même époque, FANKHAUSER (1905) nuance cette opinion pour la Suisse. Il demande une pente maximale de 10 % pour les chemins principaux et de 14 % pour les chemins secondaires.

Cette appréciation s'est généralement imposée dans les pays alpins malgré l'évolution importante de la technologie des transports. Depuis le début du siècle, les transports de bois se sont faits de plus en plus à l'aide de véhicules à moteur et de simples camions, mais la valeur limite pour la pente maximale admissible n'a guère subi de changement. HENNE (1926) a constaté que les limites de 12 % pour les routes principales et de 14 % pour les routes secondaires s'étaient avérées judicieuses. Cette appréciation s'est maintenue pendant des décennies (HESS, 1945).

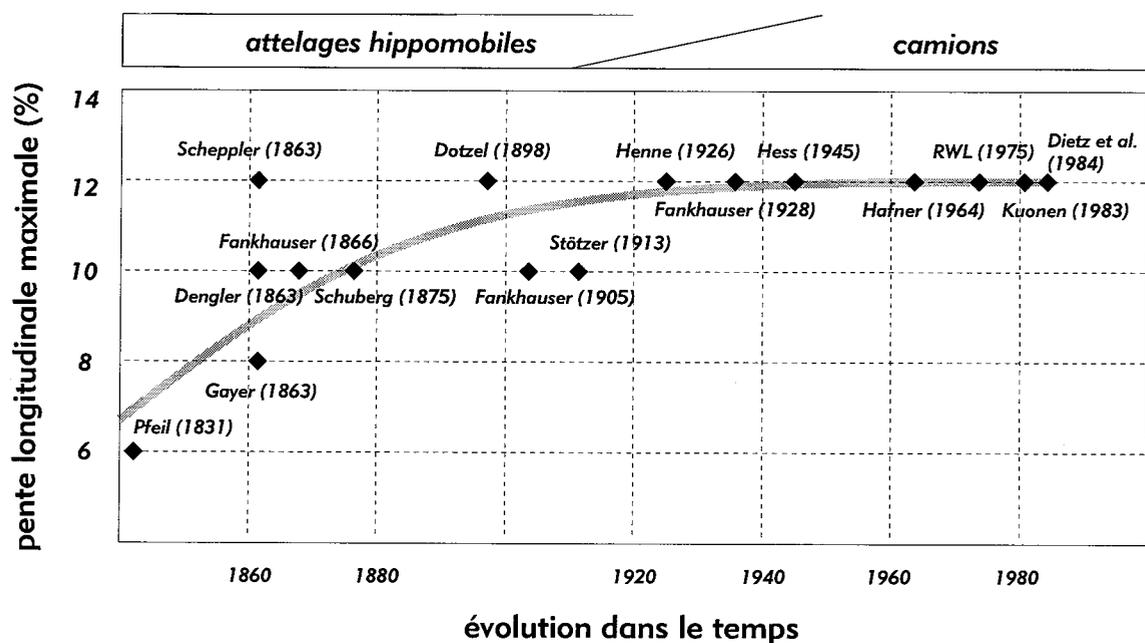


Fig. 3: **Évolution historique des pentes longitudinales limites pour les routes forestières.** La pente maximale admissible de 12 % a été préconisée à une époque où le trafic était déjà partagé entre les attelages hippomobiles et les camions.

La figure 3 montre l'évolution de la limite admissible de la pente longitudinale pour les routes forestières et la technologie des transports qui l'a motivée. Il ressort de cette évolution historique que la valeur limite de 12 % de pente maximale admise aujourd'hui a été fixée il y a longtemps et qu'elle n'a guère été remise en question ou modifiée au cours des cinquante dernières années.

Le maintien de la limite de 12 % s'explique d'une part par des aspects de la technique d'exploitation et d'autre part par des raisons d'entretien des routes. FANKHAUSER (1938) a déjà confirmé cette appréciation lorsqu'il remarquait que les routes raides étaient peu judicieuses du fait qu'elles nécessitaient un entretien coûteux et perdaient leur effet de desserte de la surface en montagne. HAFNER (1971) ajoute que les routes raides exigent davantage d'installations de drainage et que le trafic engendre des coûts d'entretien accrus. DIETZ ET AL. (1984) voit à la fois des raisons de technique de circulation parlant en faveur de pentes modérées (la sécurité du trafic diminue en fonction de la pente, surtout en hiver) et des aspects de technique d'exploitation (route forestière en tant que place de travail). Enfin, il cite également des raisons liées aux techniques de construction, c'est-à-dire des aspects d'entretien des routes. Selon SCHÖNAUER (1983), la pente longitudinale maximale des routes forestières a été fixée définitivement autour de 1950 déjà, après avoir constaté que des pentes plus fortes peuvent occasionner de dangereux dégâts d'érosion sur les routes gravelées.

La pente longitudinale de 12 % ne constitue toutefois pas la limite critique que les camions peuvent maîtriser. DIETZ ET AL. (1984) confirme que les camions modernes peuvent rouler sur des pentes nettement plus fortes. En Amérique du Nord en particulier, il est reconnu que les camions de transport des bois peuvent franchir en toute sécurité des pentes dépassant 15 % à la descente (SESSIONS ET AL., 1986). SESSIONS (1986) considère comme élément critique les performances à la montée des camions grumiers qu'il a déterminée sur la base d'un modèle analytique.

A côté des directives proprement dites, on trouve quantité d'articles spécialisés (tableau 1) qui fournissent un aperçu des points de vue en Europe et en Amérique du Nord. La pente longitudinale maximale admissible de 12 % pour les routes forestières est très répandue, surtout en Europe. Divers auteurs envisagent toutefois des limites plus élevées dans des conditions topographiques difficiles ou sur de courts tronçons. Cela est justifié principalement par des économies au niveau des coûts, par la suppression de conflits potentiels au niveau de la protection de la nature et du paysage ou de traversées de zones instables (zones de glissements).

<i>Pays</i>	<i>Année</i>	<i>Auteur</i>	<i>Catégories de routes</i>	<i>min.</i>	<i>opt.</i>	<i>max.</i>	<i>Exception</i>
<b>I</b>	1988	Baldini, S.	strade camionabili principali	2	3 - 8	10	12
			strade camionabili secondarie	3	4 - 8	10	18
	1984	Pozzatti, A. und Cercato, M.	strade camionabili principali	2 - 3	< 9	12	14
			strade camionabili secondarie	2 - 3	< 9	12	16
<b>A</b>	1983	Sedlak, O.	main road	2 - 3		9	
			subsidiary road	2 - 3		10	12
	1971	Hafner, F.	Lkw-Strassen mit Taltransport	2 - 3	< 9	10	12 (14)
	1982	Pestal, E.	Lkw-Strassen	2 - 3	< 9	10	12
	1990	Trzesniowski, A.	Lkw-Strassen	3		10	12 (20)
	1990	Holzwieser, O.	Lkw-Strassen			12	15
	1983	Schönauer, H.	Forststrassen			12	
1986	Schwab, P.	Forststrassen			12	>12	
<b>USA</b>	1984	Wenger, K.	primary roads			8	10
			secondary roads			10	12
			local road	2		15	
	1986	Walbridge, T.A.	primary roads			8	10
			secondary roads			10	12
1986	Sessions, J.	forest roads			15	>15	
<b>CAN</b>	1991	Bews, D. et al.	low-volume roads			16	
<b>F</b>	1987	Gambard, J.M.	very low-traffic roads			12	
<b>D</b>	1984	Dietz, P.	Hauptwege	2		8	10
			Zubringerwege	2		8	10
	1988	Kollmer, K.	2. class roads			8	12
			3. class roads			15	
	1991	Gaumitz, B.	Abfuhrwege	1		12	14
	1991	Oppermann, J.	Forststrassen	2	8	12	14
1982	Pampel, W.	Abfuhrwege	1		12		
<b>CH</b>	1983	Kuonen, V.	Waldstrassen	3	< 6	10	12
			Güterstrassen	3	< 6	12	14
<b>N</b>	1980	Fronsdal, J.	assembly roads			13 - 14	20

Tab. 1: **Pente longitudinale limite dans la littérature forestière.** La pente longitudinale maximale admissible s'approche de 12 % au niveau international. Des pentes plus élevées sont toutefois acceptables, en particulier dans des conditions difficiles.

### 2.2.2 Pente longitudinale maximale admissible pour les pistes de débardage et d'exploitation

Il n'existe aucune directive en Suisse concernant la pente longitudinale maximale admissible pour les pistes de débardage. La pente maximale de 20 % préconisée par KUONEN (1983) est acceptée dans la pratique forestière. WÜTHRICH (1992) est de l'avis que les pistes de débardage sur les terrains sensibles à l'érosion ne devraient pas dépasser 15 %, mais pourraient aller jusqu'à 25 % sur les sols résistants à l'érosion. En Allemagne notamment, la pente longitudinale maximale admissible est fixée à 25 % dans les principales directives, une grande importance étant accordée à la direction du débardage. Pour les transports à la montée, la pente ne devrait pas dépasser 15 %, tandis qu'à la descente, les engins de débardage modernes circulent en toute sécurité sur une pente de 25 %. En Autriche, les avis sont plutôt contradictoires. Alors que SEDLAK (1983) envisage une pente maximale de 16 %, TRZESNIOWSKI (1992) fixe la limite à 30 % environ (voir figure 4).

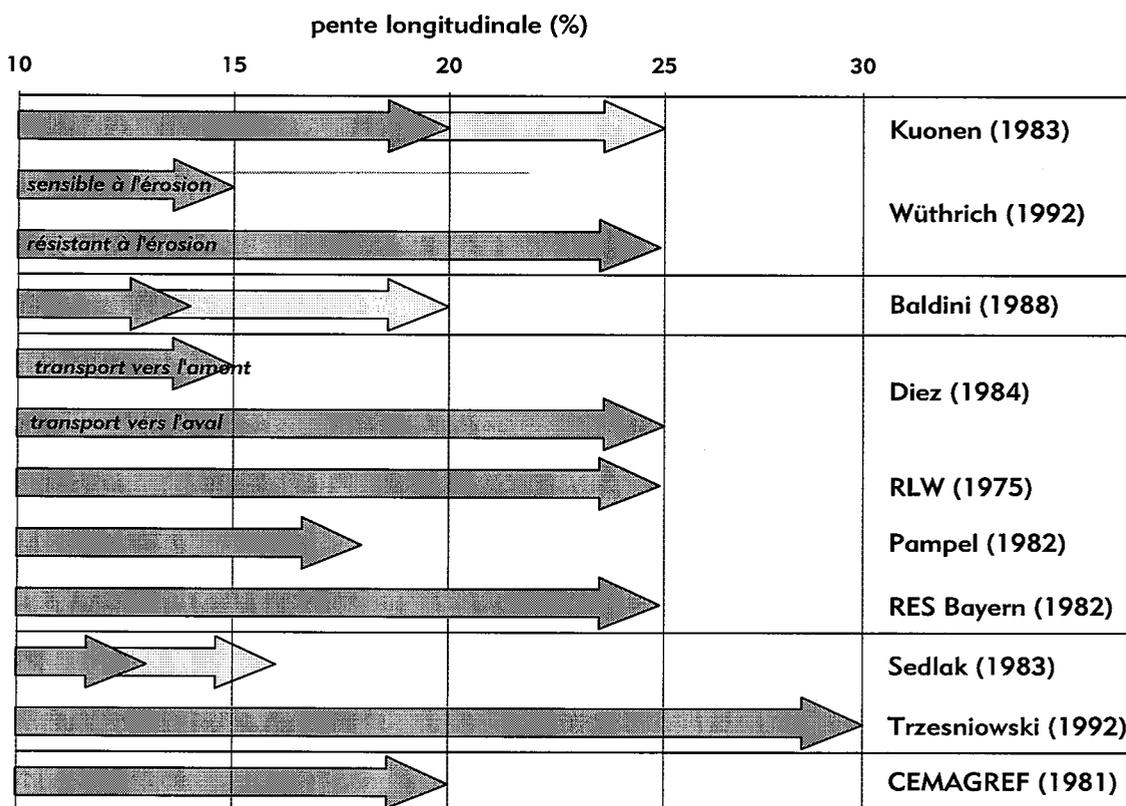


Fig. 4: Valeurs de référence pour la pente maximale admissible pour les pistes de débardage en %. La pente maximale admissible pour les pistes de débardage est fixée dans des directives en Allemagne et en France, tandis que celles-ci font défaut en Suisse et en Autriche.

LÜNZMANN (1968) a défini les limites du débardage à la montée avec des tracteurs sur les pistes de débardage à partir d'un modèle analytique. En tenant compte des facteurs physiques (résistance à la montée, au roulement et au glissement), il obtient une pente admissible de 20 à 25 % suivant les caractéristiques du sol. WOLF-DRACK (1993) admet une limite de 20 % à la montée et de 40 % au maximum à la descente pour la pente longitudinale maximale admissible pour les pistes de débardage.

### 2.2.3 Conclusions essentielles

Les conclusions essentielles suivantes peuvent être tirées des réflexions présentées dans les chapitres précédents sur l'analyse des valeurs de référence en vigueur pour la pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières et pour les pistes de débardage:

- La pente limite de 12 % pour les routes forestières a été fixée à une époque qui se caractérisait par la circulation mixte d'attelages hippomobiles et de camions.
- La limite de 12 % a été fixée sur la base de l'expérience et de réflexions qualitatives. Les critères considérés se réfèrent aux techniques de construction et d'exploitation.
- Les modèles analytiques (LÜNZMANN, 1968, CAIN 1981, SESSIONS ET AL. 1986) permettant d'évaluer les performances à la montée des véhicules de transport des bois n'ont pas été pris en considération pour la définition de la réglementation en vigueur.
- En comparaison avec les autres pays, les valeurs de référence suisses sont rigides et ne peuvent s'appliquer dans les cas spéciaux.
- Aucune valeur limite uniforme ne peut être indiquée pour les pistes de débardage. La pente longitudinale maximale admissible dépend fortement des caractéristiques du sol, de la direction de transport et des caractéristiques techniques des véhicules de débardage et doit par conséquent être déterminée en fonction des conditions d'engagement spécifiques.

## 2.3 Profil en travers

Le profil en travers des routes et pistes doit tenir compte des éléments suivants:

- largeur de la chaussée;
- surlargeur dans les courbes;
- dévers latéral de la chaussée;
- profil d'espace libre;
- revêtement de la chaussée (matériau et forme);
- banquettes, bordures et talus;
- places d'évitement et à tourner.

Nous n'avons considéré ci-après que les deux éléments largeur et revêtement de la chaussée. Les autres éléments du profil en travers n'ont pas été examinés du fait qu'ils ont été discutés en détail dans la littérature (KUONEN 1983, DIETZ ET AL. 1984) et n'ont pas besoin d'être adaptés.

La définition des profils en travers des routes forestières et des pistes de débardage dépend de la composition et de la densité du trafic attendu sur l'installation de transport ainsi que des largeurs maximales des véhicules. Il faut cependant également tenir compte des exigences de la protection de la nature et du paysage, d'une utilisation mesurée du sol et des coûts.

### 2.3.1 Largeur de la chaussée des routes forestières

Vu la faible densité du trafic sur les routes forestières, il ne faut prévoir que des routes à une voie, la largeur de la chaussée correspondant à celle des véhicules. Nous entendons par largeur de la chaussée la largeur de l'empierrement de la route. La largeur de la chaussée est déterminée par la largeur maximale des véhicules qui l'empruntent. Selon l'ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers (OETV) du 19 juin 1995, la largeur maximale est de 2,50 m et même de 2,60 m pour les véhicules isothermes à parois épaisses. L'Union européenne a augmenté la largeur maximale des véhicules de 2,50 à 2,55 m, prescription qui devait être appliquée par les États membres jusqu'au 17 septembre 1997. Le Conseil fédéral a proposé au Parlement de modifier l'art. 9 de la loi sur la circulation routière et de donner la compétence concernant la dimension des véhicules au Conseil fédéral. La nouvelle largeur maximale admissible de 2,55 m est également entrée en vigueur en Suisse au printemps 1998. Pour des raisons de sécurité du trafic, des bandes de sécurité doivent être ménagées de part et d'autre du véhicule (figure 5). Elles doivent mesurer au moins 0,35 m de chaque côté (KUONEN, 1983) et leur largeur doit être augmentée en fonction de la vitesse.

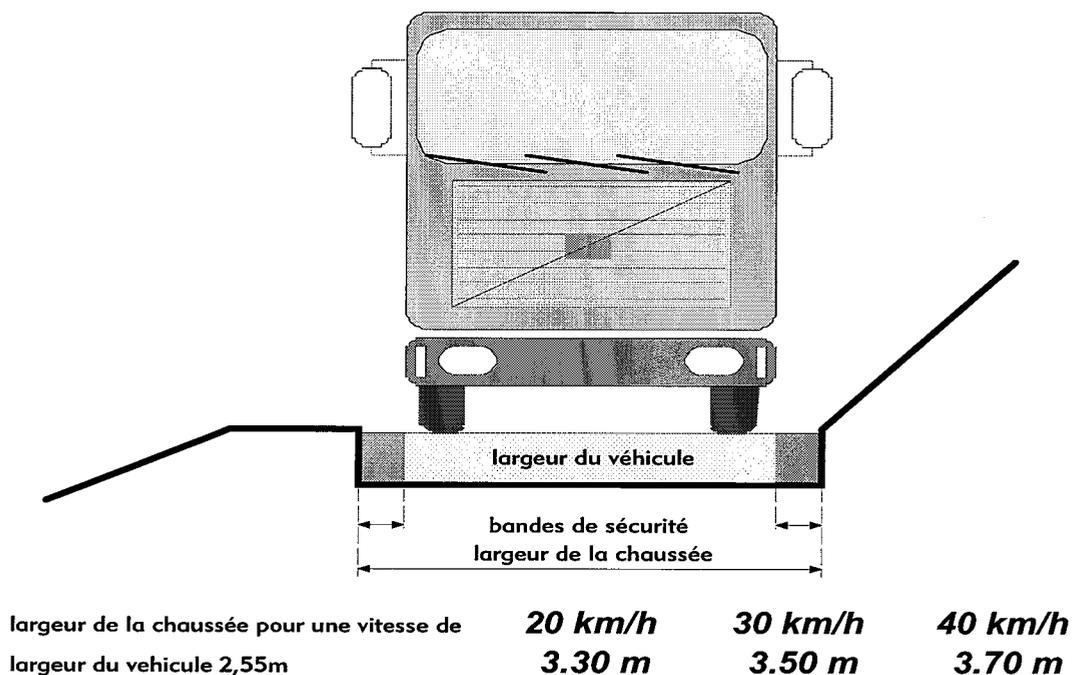


Fig. 5: **Largeur minimale de la chaussée sur des tronçons de route droits** (SAFS, 1989). La largeur de la chaussée est fonction de la largeur maximale des véhicules déterminants et d'une bande de sécurité de 0,35 m de part et d'autre du véhicule qui est élargie en fonction de la vitesse.

Une comparaison avec les principales directives des pays voisins montre que les largeurs minimales de la chaussée des routes forestières concordent largement (tableau 2), une largeur minimale de 3,5 m étant prévue en Allemagne et en France pour les routes forestières à une voie.

<i>Largeur des routes forestières</i>	<i>Largeur des pistes de débardage</i>	<i>Source (pays)</i>
3,5 m	3,0 m	RLW 1975 (D)
3,5 m	2,5 - 3,0 m	RES Bayern (D)
3,5 - 4,0 m	3,0 m	CEMAGREF (F)
3,0 3,5 m		RVS 3.8 (A)
	3,0 m	Trzesniowski 1982 (A)
3,2 - 3,6 m		SAFS (CH)
	3,0 - 3,5 m	Kuonen 1982, Wüthrich 1992 (CH)

Tab. 2: **Comparaison internationale de la largeur minimale des routes forestières et des pistes de débardage.** Les directives des pays alpins voisins prévoient une largeur minimale de la chaussée de 3,0 m (A) à 3,5 m (D, F) pour les routes forestières. La largeur minimale des pistes de débardage est de 3,0 m.

Dans son étude sur le canton de Schwytz, LIENERT (1983) a constaté que la grande majorité des routes forestières possèdent une chaussée de 3 m de large. Certaines des routes les plus anciennes sont encore plus étroites. Il relève que les routes étroites sont plus souvent endommagées et présentent fréquemment des déflexions importantes.

### 2.3.2 Largeur des pistes de débardage

Il n'existe pas réellement de directive en Suisse pour la largeur des pistes de débardage. Cependant, la largeur de celles-ci est elle aussi déterminée par les dimensions des principaux véhicules (tracteur muni de treuil, tracteur à pince de débardage, porteur). Les pistes doivent donc être suffisamment larges pour permettre un engagement optimal des engins de débardage (maniabilité) et une sécurité suffisante de la circulation. C'est pourquoi KUONEN (1983) préconise une largeur minimale de 3 m. Selon WÜTHRICH (1992), la largeur carrossable des pistes de débardage doit être de 3,0 à 3,5 m pour répondre aux exigences de maniabilité et de sécurité.

La comparaison avec les valeurs de référence des différents pays alpins (tableau 2) montre que les largeurs exigées pour les pistes de débardage se situent dans le même ordre de grandeur qu'en Suisse.

WOLF-DRACK (1993) est d'avis qu'une largeur de 3 m est suffisante pour les tracteurs forestiers et agricoles. Il recommande toutefois des largeurs plus importantes pour les porteurs et les récolteuses qui travaillent avec des grues hydrauliques.

### 2.3.3 Revêtement des routes forestières

Le schéma d'évaluation proposé par HIRT (1977) (figure 6) constitue une première approche précieuse. Il est construit sur les critères trafic, précipitations, pente et ensoleillement et constitue l'unique base d'appréciation pour la construction du revêtement des routes forestières. Le schéma d'appréciation de Hirt est reconnu dans la construction des routes forestières. Son utilisation pratique a toutefois montré que la zone critique dans laquelle il faut passer d'une route gravelée à une couche de fermeture bitumineuse doit être décalée de la classe d'érosion 4 à la classe d'érosion 6. Une application stricte du diagramme de Hirt a tendance à entraîner la construction de routes trop luxueuses.

LIENERT (1983) approuve les critères postulés par HIRT (1977) mais relève que les routes à fort trafic et à pente longitudinale importante présentent de nombreuses rigoles d'érosion. Il relativise l'influence de la quantité de précipitations du fait qu'à son avis, la dégradation de la surface de la chaussée dépend principalement de l'intensité et de la fréquence de fortes précipitations.

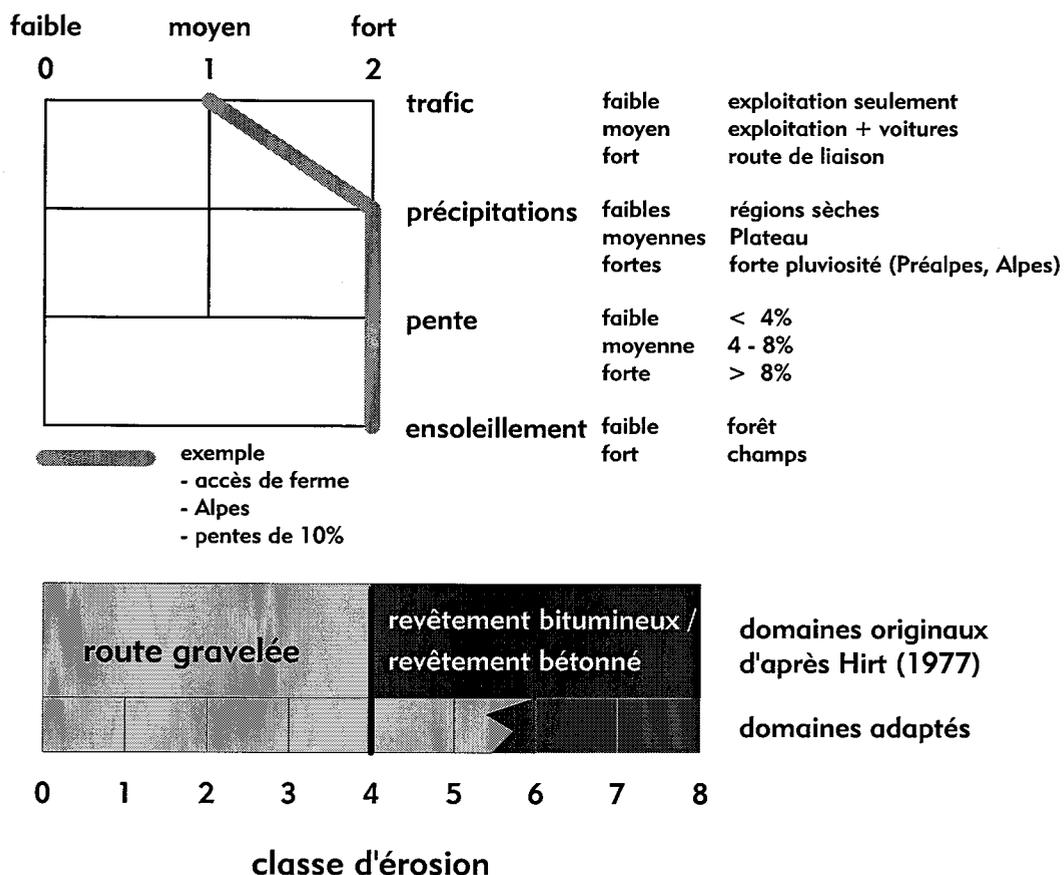


Fig. 6: **Schéma d'évaluation pour le choix de la couche de fermeture** (HIRT, 1977). Les critères trafic, précipitations, pente et ensoleillement sont appréciés par des points (0 à 2). La somme donne une échelle du risque d'érosion qui peut être utilisée pour le choix du revêtement.

### 2.3.4 Conclusions essentielles

Les conclusions suivantes peuvent être tirées en ce qui concerne la largeur des routes forestières et des pistes de débardage et leur revêtement:

- En comparaison avec les directives des pays voisins, les largeurs minimales des routes forestières se situent à la limite inférieure.
- L'adaptation des dimensions des véhicules aux directives de l'Union européenne entraîne une augmentation de la largeur minimale des routes forestières en Suisse à 3,2 – 3,3 m.
- La largeur des pistes de débardage doit être fixée en fonction de la largeur maximale des engins de débardage. Elle doit assurer une maniabilité des véhicules et une sécurité de la circulation suffisantes.
- Le schéma d'évaluation pour le choix du revêtement de HIRT (1977) est accepté comme base de décision. L'appréciation se fait de manière empirique et l'influence des critères trafic, pente longitudinale et intensité des précipitations ne peut donc pas être quantifiée.

## 3 Critères pour la détermination des éléments géométriques

### 3.1 Conditions juridiques

La loi sur la circulation routière du 19 décembre 1958 (LCR, RS 741.01) fixe les conditions juridiques, en particulier les dimensions, les poids et les charges maximum des véhicules décrits à l'article 9. Étant donné que les véhicules circulant sur les routes forestières sont les mêmes que sur le reste du réseau routier, les prescriptions de la LCR doivent être respectées. L'actuelle révision de l'article 9 de la loi sur la circulation routière prévoit de déléguer au Conseil fédéral l'adaptation des dimensions des véhicules. L'*ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers (OETV)* du 19 juin 1995 fixe le détail des spécifications techniques, en particulier:

- **Poids d'adhérence minimum** (art. 39 al. 3 OETV): au moins 25 % du poids à vide du véhicule avec son conducteur doivent reposer sur le ou les essieux moteurs.
- **Capacité de démarrage** (art. 54 al. 3 OETV): les véhicules à moteur et les ensembles de véhicules doivent pouvoir démarrer sans difficulté à pleine charge sur des rampes jusqu'à 15 %.
- **Puissance utile minimale** (art. 97 al. 2 OETV): la puissance utile du moteur de propulsion doit atteindre au minimum, par tonne de poids total : 7,35 kW pour les voitures automobiles et les ensembles de véhicules et 2,95 kW pour les trains routiers tirés par un tracteur.
- **Capacité de freinage** (annexe 7 OETV, al. 211, 241): la décélération du frein de service doit atteindre au moins 5 m/s<sup>2</sup> pour les camions et 2,4 m/s<sup>2</sup> pour les tracteurs agricoles.
- **Frein de stationnement** (annexe 7 OETV, al. 213, 243): le frein de stationnement doit pouvoir empêcher le véhicule chargé de se mettre en mouvement sur une rampe ou une déclivité de 18 %.

### 3.2 Tracé vertical

#### 3.2.1 Pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières

Selon ANDERSON ET AL. (1991), la détermination de la pente longitudinale d'une route forestière est une décision complexe qui doit intégrer les éléments construction de la route, entretien, densité du trafic, type de véhicules, sécurité du trafic et rentabilité.

WEBER (1977) définit la pente longitudinale maximale admissible pour une route comme la valeur qui garantit la sécurité, le confort et la durabilité d'une installation dans un cadre acceptable. Il s'agit donc d'une optimisation dans un système d'objectifs à plusieurs dimensions qui ne peut jamais fournir une solution absolue mais dépend fortement du poids attribué à chacun des critères.

La figure 7 montre les lignes directrices qui ont une valeur générale pour l'aménagement de systèmes techniques. On regroupe sous fonctionnalité tous les critères techniques qui décrivent les exigences d'exploitation sur l'ensemble d'un cycle de vie. Le critère de rentabilité a pour but de minimaliser les coûts de construction et d'entretien sur l'ensemble du cycle de vie. Enfin, la sécurité a pour but de minimaliser les risques liés à l'emploi de l'installation. L'optimisation de la fonctionnalité doit d'une part évaluer les limites techniques de faisabilité et d'autre part considérer l'utilisabilité de l'installation sur l'ensemble du cycle de vie. L'expérience montre que la durabilité des routes forestières constitue un critère décisif qui influence grandement le confort de la circulation.

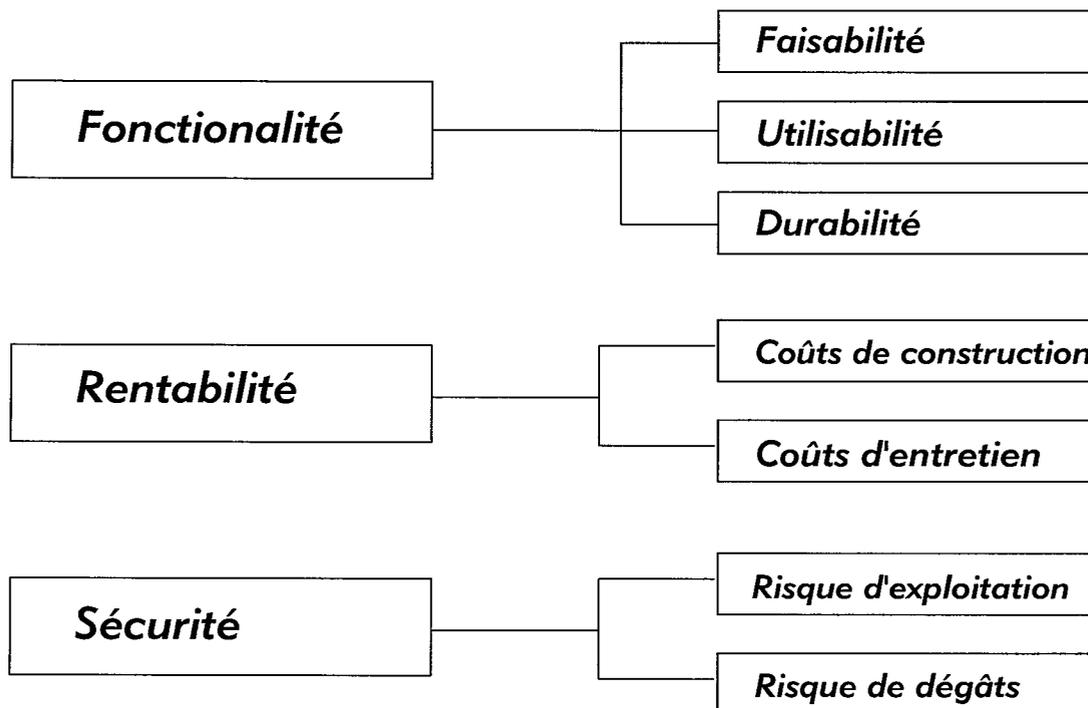


Fig. 7: **Critères de détermination de la pente longitudinale admissible.** La maximalisation simultanée des critères fonctionnalité, rentabilité et sécurité donne le domaine dans lequel la valeur de référence pour la pente longitudinale maximale admissible pour les routes forestières peut être définie.

Le type de véhicules de transport envisagé dans les explications qui suivent est basé sur les modèles de camions usuels pour le transport des bois en Suisse d'après BUTORA (1978) et AMSTUTZ (1981). Il s'agit de camions à 2 et à 3 essieux, ainsi que des trains routiers constitués d'un camion à 2 essieux et d'une remorque à 2 essieux. Les grumiers utilisés pour le transport des longs bois ne sont pas examinés spécialement.

La détermination de la pente longitudinale maximale admissible découle des situations critiques de circulation. A la montée, la situation critique consiste dans le démarrage à pleine charge, tandis qu'à la descente c'est le freinage à pleine charge qui est déterminant. Dans les deux cas, les forces à considérer sont l'accélération, l'attraction terrestre, la résistance au roulement et la résistance de l'air. A ces forces est opposée la résistance maximale au cisaillement disponible entre les roues motrices et la surface de la chaussée (voir figure 8). La situation critique est atteinte lorsque la somme des forces de poussée atteint la somme des forces de résistance.

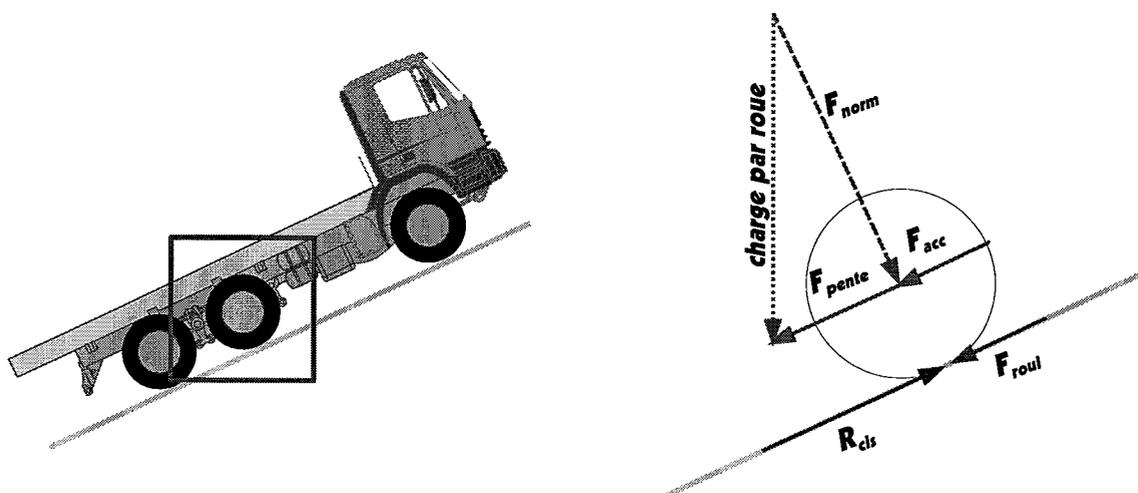


Fig. 8: **Modèle pour la définition de la pente limite.** Pour surmonter les résistances en présence (résistance au roulement  $F_{roul}$ , résistance à la montée  $F_{pente}$ ), le véhicule doit fournir une force de traction suffisante dont la limite est donnée par l'adhérence entre le véhicule et la surface de la chaussée.

Différents auteurs ont tenté de modéliser ces situations critiques (MC NALLY 1975, CAIN 1981). Les modèles utilisés comportent parfois des composantes empiriques. Ils sont conçus de manière à tenir compte de la pente longitudinale admissible. L'ordonnance concernant les exigences techniques requises pour les véhicules routiers prescrit pour le freinage des camions une décélération de  $5 \text{ m/s}^2$ . Cette décélération est nettement supérieure à l'accélération lors du démarrage, *si bien que le freinage à pleine charge à la descente constitue la situation critique déterminante.*

Les deux situations critiques à considérer sont (1) le démarrage à la montée et (2) le freinage à la descente. La situation critique "démarrage" peut être modélisée analytiquement. Les paramètres déterminants sont la géométrie du véhicule, la répartition des charges, le coefficient de frottement au roulement et le coefficient d'adhérence. L'influence la plus forte est exercée par le coefficient d'adhérence (ANDERSON ET AL., 1981). Il indique l'équilibre des forces entre les pneus des roues motrices et la surface de la chaussée. Il dépend principalement du véhicule, des facteurs d'environnement et de la constitution de la surface de la chaussée. Le tableau 3 donne une vue d'ensemble des coefficients d'adhérence utilisés dans la littérature forestière.

Surface de la chaussée	Coefficients d'adhérence				
	Lünzmann (1968)	Hafner (1971)	Cain (1981)	Pampel (1982)	Moyenne
Glace		0,11	0,10	0,10	<b>0,10</b>
Neige (tassée)	0,37	0,25	0,37	0,40	<b>0,35</b>
Chemin en terre (mouillé)	0,30	0,30	0,45	0,53	<b>0,40</b>
Chemin en terre (sec)	0,65	0,60	0,60	0,70	<b>0,64</b>
Gravier (mouillé)	0,35	0,40	0,60	0,60	<b>0,49</b>
Gravier (sec)	0,60	0,60	0,67	0,80	<b>0,67</b>
Asphalte (mouillé)	0,50	0,50	0,55	0,60	<b>0,54</b>
Asphalte (sec)	0,70	0,65	0,62	0,80	<b>0,69</b>
Béton (mouillé)	0,65	0,61	0,62	0,68	<b>0,64</b>
Béton (sec)	0,80	0,88	0,82	0,90	<b>0,85</b>

Tab. 3: **Coefficients d'adhérence pour différentes surfaces de chaussée et différentes conditions d'environnement.** Le coefficient d'adhérence est la principale variable pour la modélisation des situations critiques de circulation sur différents revêtements.

Dans la situation critique, les résistances (cisaillement véhicule-route) et les forces (attraction terrestre, accélération, résistance au roulement, résistance de l'air) sont en équilibre. Les formules de MC NALLY (1975) et de CAIN (1981) permettent de déterminer de manière simplifiée les conditions d'équilibre. La formule ci-après s'applique approximativement au cas «démarrage à la montée».

$$s = 100 \cdot \left[ \left( \frac{Q_A}{Q} \right) \cdot \mu - f \cdot \left( 1 - \frac{Q_A}{Q} \right) \right] \quad [1]$$

où	s	=	penne limite en %
	Q <sub>A</sub>	=	poids sur les roues motrices
	Q	=	poids total
	μ	=	coefficient d'adhérence
	f	=	coefficient de frottement

Une relation analogue peut être établie pour le cas «freinage à la descente». La force de cisaillement maximale disponible qui ne peut être exercée que par les roues motrices doit être remplacée par la force de cisaillement maximale exercée par l'ensemble des roues freinées.

La formule [1] permet d'évaluer la pente limite pour différents véhicules et différentes surfaces de chaussée. Les camions de transport des bois modernes présentent un poids d'adhérence largement plus élevé que la valeur minimale de 25 % exigée par l'OETV, ce que confirme les expériences de SKAAR (1988). Le poids d'adhérence se situe en moyenne entre 36 et 57 % aussi bien à vide qu'en charge. Le facteur 0,20, que SESSIONS (1986) a utilisé dans ses calculs, a été choisi comme coefficient de résistance au roulement moyen pour les calculs de la pente limite représentée dans la figure 9 (camion chargé). Si l'on admet un coefficient d'adhérence de 0,50 (route gravellée et asphalte mouillé, voir tableau 3), on obtient pour les différents camions une pente maximale entre 17 % (train routier) et 28 % (camion à 2 essieux) à vide. Le camion à 3 essieux se situe entre les deux, compte tenu du fait que seul le type le moins puissant, avec un seul essieu moteur, a été pris en considération.

Pour les camions chargés, les valeurs limites pour une adhérence moyenne de 0,50 se situent également entre 16 et 26 % (figure 9). Si l'on considère des chaussées plus rugueuses (p. ex. dalle en béton), la pente maximale des camions augmente considérablement. Pour un coefficient d'adhérence de 0,65 (béton mouillé), il se situe, pour des camions tant à vide que chargés, entre 22 % (train routier) et 35 % (camion à 2 essieux) (figure 9).

S'il faut circuler en hiver sur la neige tassée, la pente limite diminue (figure 9) mais peut être légèrement augmentée en utilisant des chaînes. Il faut également compter avec une diminution de l'adhérence sur des chaussées sales et par temps de pluie, ce qui entraîne une forte réduction de la pente limite. Le modèle ne tient pas compte des multiples cas de verglas, étant donné que l'adhérence devient tellement faible qu'il n'est possible de rouler que sur des pentes minimales. Les forces d'accélération nécessaires au démarrage n'ont pas été prises en considération non plus, car elles entraînent une réduction de la pente limite comme le montre la figure 9.

La pente limite découlant de la descente à pleine charge peut en principe être déterminée de la même manière que pour la montée. Différents auteurs (CAIN, 1981; SESSIONS ET AL., 1986; ANDERSON ET AL., 1991) qui ont étudié intensivement la pente limite à la montée pour les camions transportant des bois mettent en garde contre des pentes supérieures à 20 %. Celles-ci posent en effet des problèmes de sécurité à la descente, car le conducteur risque de perdre la maîtrise de son véhicule. C'est pourquoi les routes d'une pente supérieure à 20 % ne devraient être admises que pour une utilisation temporaire (ANDERSON ET AL., 1991).

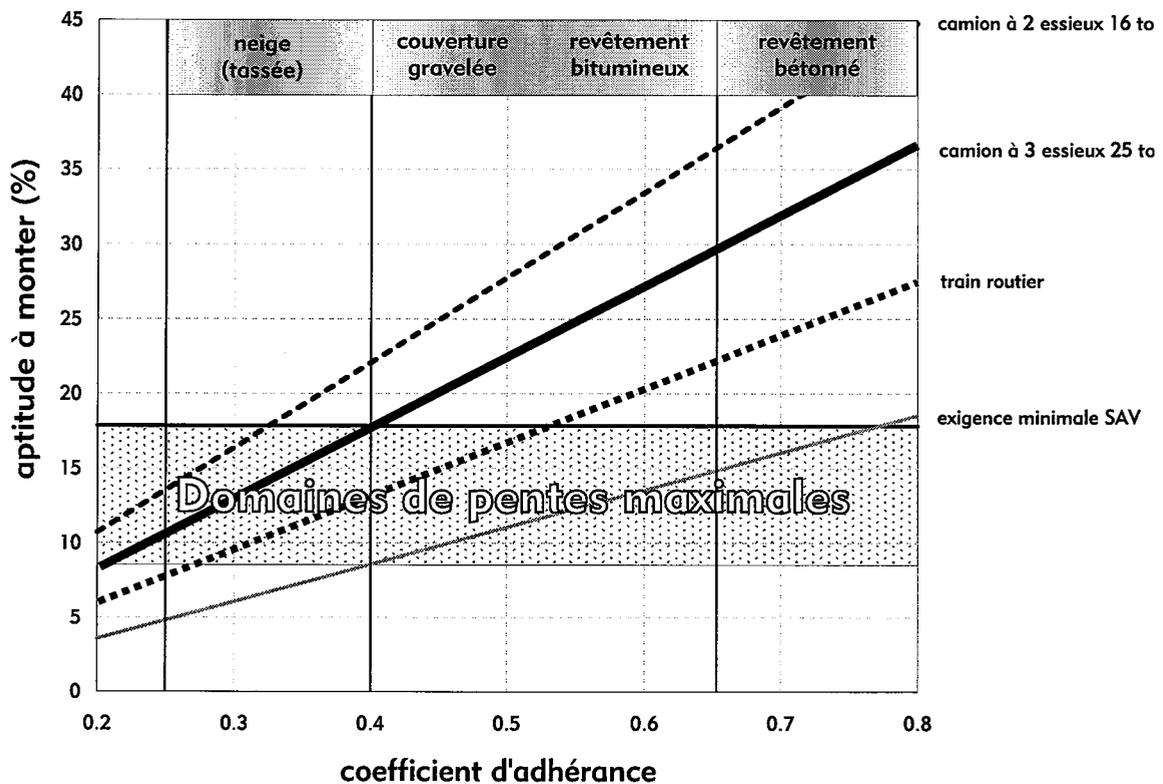


Fig. 9: **Aptitude à monter des camions de transport du bois chargés.** La pente limite augmente nettement en fonction du coefficient d'adhérence.

L'influence du revêtement de la chaussée, en particulier du coefficient d'adhérence, sur la pente limite est extraordinairement forte. Pour franchir des pentes dépassant 15 %, il faut une adhérence suffisante ( $> 0,60$ ), ce qui ne peut être réalisé que par la construction de surfaces rugueuses. Comme le montrent les expériences d'ANDERSON ET AL. (1991), une adhérence suffisante peut également être obtenue par une couche de fermeture de gravier concassé avec une proportion importante de gravier grossier.

### 3.2.2 Pente longitudinale maximale admissible pour les pistes de débardage

Les critères déterminants pour la définition de la pente longitudinale maximale admissible pour les pistes de débardage sont:

- la portance du sol;
- la direction de transport;
- l'équipement des engins de débardage (véhicules tout-terrain, pneus basse pression).

Étant donné que les engins de débardage modernes sont en règle générale à 4 roues motrices, ils peuvent en principe rouler sur des pentes très importantes. Les tracteurs munis de treuil doivent surmonter le frottement et l'attraction terrestre de la charge en plus de la résistance à la montée et au roulement du véhicule. LÜNZMANN (1968) a déterminé les pentes limites des engins de débardage sur la base de ces facteurs physiques. Il a calculé une pente limite de 20 à 25 % pour un tracteur muni de treuil dont la charge est portée par l'essieu. Selon le modèle de LÜNZMANN (1968), un tracteur à 4 roues motrices dont 55 % de la charge est portée lors du débardage peut rouler sur des pentes jusqu'à 26 % (coefficient d'adhérence de 0,40 (chemin de terre), coefficient de résistance au roulement de 0,04).

Si la portance du sol est inférieure à 3 % CBR (p. ex. flysch), la pente limite pour le transport à la montée se réduit à env. 15 %. Cette valeur peut être légèrement augmentée par l'utilisation de pneus basse pression. Le transport à la descente permet en principe de rouler sur des pentes plus élevées. Des valeurs de 40 % (WOLF-DRACK, 1993) et plus comme les indiquent aussi les fabricants d'engins de débardage ne sont toutefois pas réalistes pour des raisons de sécurité. La situation critique déterminante est le freinage et non la descente régulière.

### 3.3 Profil en travers

#### 3.3.1 Largeur des routes forestières

La largeur de la chaussée des routes forestières dépend pour l'essentiel de trois facteurs:

- les dimensions maximales des véhicules;
- le trafic (composition et densité);
- la vitesse prévue.

Il en découle les exigences techniques minimales au niveau de la largeur. Du fait de la faible densité du trafic sur les routes forestières, on ne construit que des installations à une voie pour une vitesse de 30 à 40 km/h. La largeur maximale admissible pour les camions ne doit pas dépasser 2,55 m. Les routes à une voie nécessitent des places d'évitement pour permettre le croisement des véhicules.

Des critères fonctionnels, économiques et écologiques doivent également être pris en considération pour la définition du profil en travers des routes forestières. Outre leur fonction de trafic, les routes forestières exercent des fonctions importantes en tant que place de travail, place d'empilage et de transbordement, ce qui tend à demander une largeur de la chaussée plus importante. A l'opposé, les critères écologiques tels que utilisation modérée du sol, morcellement des habitats (effet barrière) et des biotopes parlent en faveur d'une chaussée aussi étroite que possible ne répondant qu'aux exigences minimales.

La détermination de la largeur de la chaussée peut se faire sur la base de différents modèles empiriques fondés sur divers points de vue:

- le profil d'espace libre;
- les bandes de sécurité;
- le facteur de la largeur maximale ou
- la vitesse de circulation ou de projet.

Les différents modèles de dimensionnement sont comparés ci-après (tableau 4).

### **Profil d'espace libre**

La norme VSS (1983) fixe un profil d'espace libre pour tous les acteurs du trafic. Une marge de manoeuvre et une surlargeur de sécurité sont ajoutées aux dimensions du véhicule déterminant pour définir la largeur de la chaussée. La marge de manoeuvre dépend de la vitesse et correspond à l'imprécision de la circulation. La surlargeur de sécurité est une majoration fixe de la dimension de base.

Selon la norme SN 640 201 (VSS, 1992), la marge de manoeuvre pour une vitesse de 0 à 40 km/h se situe entre 0,0 et 0,1 m, la surlargeur de sécurité indiquée est de 0,3 m. La largeur totale de la bande de sécurité atteint ainsi 0,3 à 0,4 m.

### **Bande de sécurité**

Selon PAMPEL (1982), la chaussée est constituée de la largeur admissible du véhicule déterminant et d'une bande de sécurité des deux côtes. Cette bande de sécurité correspond à la marge de manoeuvre nécessaire du fait de l'imprécision de la circulation et dépend de la vitesse. SCHWARZER (1987) évalue la largeur de la bande de sécurité pour les vitesses inférieures à 50 km/h à 0,25 m. KUONEN (1983) préconise une largeur d'au moins 0,35 m pour les bandes de sécurité pour les camions de transport des bois sur les routes forestières, en se fondant sur l'expérience. En Allemagne en particulier, la largeur de la chaussée est dimensionnée avec une bande de sécurité de 0,35 à 0,50 m de chaque côté.

### **Facteur de la largeur maximale**

KUONEN (1983) mentionne le facteur, souvent utilisé dans la littérature, au moyen duquel la largeur minimale de la chaussée est dérivée de la largeur maximale des véhicules autorisés. Ce facteur varie entre 1,3 et 1,5.

### **Vitesse de circulation ou de projet**

RODRIGUEZ (1986) détermine la largeur de la chaussée des routes forestières de manière empirique en fonction de la vitesse. La largeur se calcule en partant de la largeur du véhicule et d'un facteur relatif à la vitesse.

GAUMITZ (1990) a modifié cette formule pour équilibrer la divergence entre les groupes d'intérêts (économie forestière et protection de la nature). Il a réduit le facteur de vitesse et obtenu des largeurs de chaussée de 3,0 à 3,2 m pour les vitesses entre 20 et 40 km/h.

<i>Modèle de dimensionnement</i>	<i>Éléments déterminants</i>	<i>Largeur de la chaussée</i>
Profil d'espace libre	Marge de manoeuvre, surlargeur de sécurité	3,15 à 3,35 m
Bande de sécurité	Bandes parallèles de 0,35 - 0,50 m de chaque côté	3,25 à 3,55 m
Facteur de la largeur maximale	Facteur f = 1,3 – 1,5 (en fonction de la vitesse)	3,30 à 3,80 m
Vitesse de projet	Facteur de vitesse $f = 2 * \sqrt{0,01 + 0,005v}$	3,21 à 3,47 m

Tab. 4: **Largeur de la chaussée des routes forestières sur la base de divers modèles de dimensionnement.** Les largeurs minimales définies au moyen de différents modèles se situent toutes aux environs de 3,20 m.

La largeur minimale des routes forestières ne peut pas être définie directement à partir du profil d'espace libre, du fait qu'il ne répond pas aux exigences et aux conditions particulières des routes forestières raides. Il faut accorder une importance plus grande à la sécurité du trafic sur les routes forestières à une voie, en particulier sur les tronçons raides. La détermination de la largeur de la chaussée à l'aide du modèle des bandes perpendiculaires permet de tenir suffisamment compte de la sécurité du trafic. La largeur minimale ainsi définie de la chaussée est de 3,2 - 3,3 m. Cette valeur correspond à une limite qui découle des exigences minimales de la dynamique de la circulation et qui devrait être respectée. La largeur minimale de la chaussée correspond assez bien à celle calculée par la formule empirique de RODRIGUEZ (1986) pour des vitesses voisines de 20 km/h.

Si l'on tient en outre compte de critères fonctionnels (route forestière en tant que place de travail et de transbordement), on peut justifier une largeur maximale de la chaussée de 3,40 m sur les tronçons droits. Il est judicieux de porter la bande de sécurité à 0,50 m pour des raisons de sécurité du trafic, en particulier sur les tronçons raides, ce qui porte la largeur maximale de la chaussée à 3,50 mètres sur les tronçons droits.

### 3.3.2 Largeur des pistes de débardage

Les critères suivants influencent directement la largeur des pistes de débardage:

- les dimensions maximales des engins de débardage;
- la sécurité du trafic et la maniabilité des engins de débardage;
- le risque d'érosion du sol en place;
- les critères économiques;
- les critères écologiques.

La largeur maximale des engins de débardage nécessite des pistes où ils puissent circuler en toute sécurité. Le tableau 5 montre que les engins de débardage utilisés dans l'économie forestière ont tendance à devenir toujours plus larges. De plus, l'utilisation de pneus larges sur des sols à faible portance se répand, ce qui augmente considérablement la largeur maximale des engins de débardage.

<i>Engins de débardage</i>	<i>Largeur en mm</i>				
	<i>&lt;2000</i>	<i>&lt;2200</i>	<i>&lt;2400</i>	<i>&lt;2600</i>	<i>&lt;2800</i>
Porteur	1	1	2	7	2
Tracteur à pince	0	0	2	0	0
Tracteur à treuil	5	2	4	3	2
<b>Nombre de types de véhicules</b>	<b>6</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>4</b>

Tab. 5: **Largeur maximale des engins de débardage usuels.** Les véhicules ont des largeurs proches des largeurs maximales admissibles pour les camions. Compilation sur la base des documents disponibles.

Une marge de manoeuvre et de sécurité d'environ 0,50 m de chaque côté des véhicules doit être prévue pour garantir la maniabilité des engins de débardage lors des processus de chargement dans le peuplement. Il en résulte des largeurs minimales de 3 m. WOLF-DRACK (1993) relève qu'une largeur de 3 m assure une sécurité et une maniabilité suffisantes aux tracteurs agricoles conventionnels munis de treuil, mais que l'utilisation de porteurs travaillant avec des grues hydrauliques nécessite des largeurs de piste d'au moins 3,5 m, ce qui est confirmé par les dimensions mentionnées dans le tableau 5. WÜTHRICH (1992) relève l'emploi toujours plus fréquent de pneus larges à basse pression et préconise également une largeur minimale de 3,5 m pour un engagement rationnel.

### 3.3.3 Revêtement de la chaussée des routes forestières

Le revêtement de la chaussée est déterminé en priorité par le critère de la durabilité. C'est particulièrement vrai pour les faibles densités de trafic que l'on rencontre sur les routes forestières et rurales. Le schéma de HIRT (1977) est basé sur le critère de durabilité et considère les facteurs trafic, précipitations, pente longitudinale et ensoleillement pour évaluer le risque d'érosion. L'étude de PATERSON (1991) fournit un modèle permettant de prévoir le processus de détérioration des routes gravelées. Bien que PATERSON (1991) ait fondé ses expériences sur une grande quantité de données rassemblées sur plusieurs continents, son application directe aux conditions des routes forestières et rurales de Suisse est limitée. Le volume de trafic à la base des données se situe entre 100'000 et 3 millions d'essieux normés, ce qui dépasse de beaucoup les volumes de trafic des routes forestières qui se situent entre 10'000 et 150'000 essieux normés suivant la fonction de la route. La figure 10 montre la sensibilité du modèle de PATERSON pour un volume de 100'000 essieux normés.

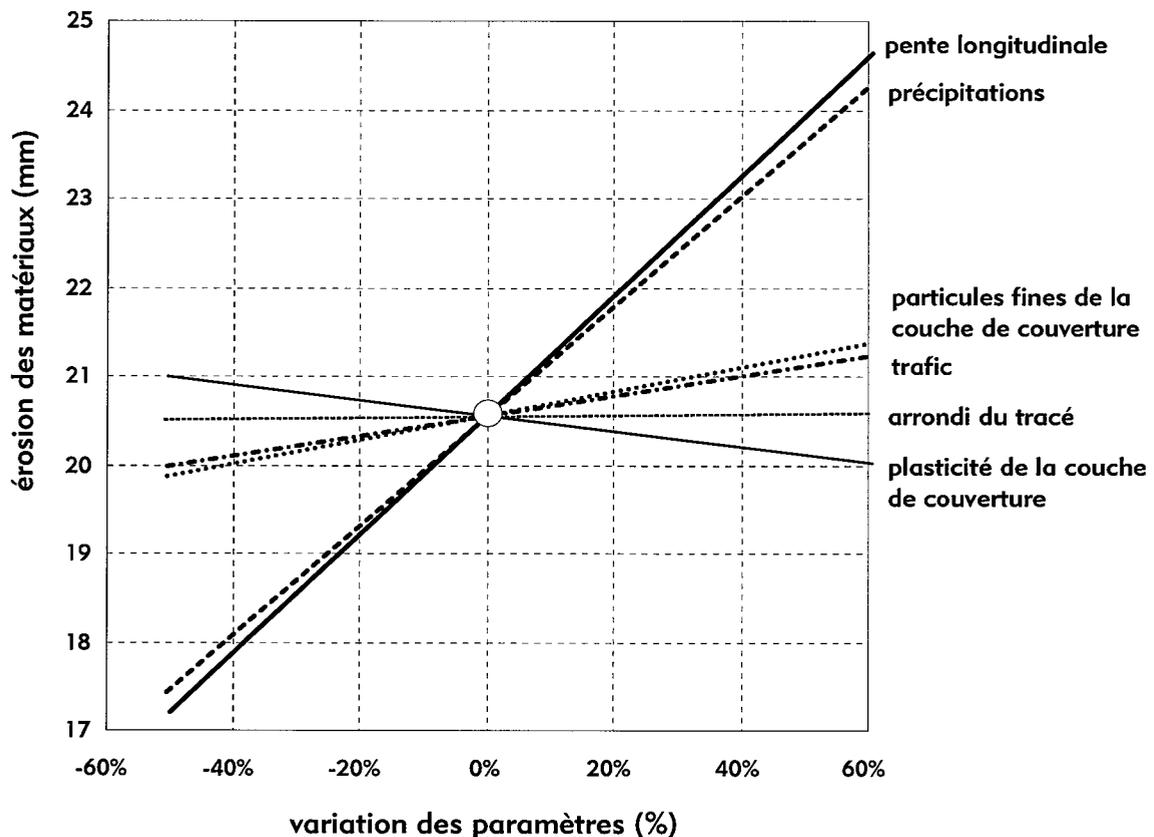


Fig. 10: **Sensitivité du modèle de dégâts de Paterson (1991).** Le point de référence est basé sur les paramètres suivants: pente longitudinale 6 %, précipitations 130 mm/mois, trafic 20 véhicules par jour, indice de plasticité du matériau de la couche de fermeture 10, particules fines de la couche de fermeture 40 %.

Les facteurs dominants pour la dégradation de la surface de la chaussée sont la pente longitudinale et les conditions de précipitations. L'influence du trafic journalier ne se monte qu'à un cinquième de celle des deux facteurs précédents. Il est intéressant de voir que les caractéristiques du matériau (proportion de particules fines et indice de plasticité) représentent une sorte de résistance à l'usure. La résistance à l'usure diminue pour une proportion de particules fines croissante, tandis qu'elle augmente légèrement avec l'indice de plasticité. Le modèle de Paterson montre que pour un volume de trafic très faible, seules la pente et les précipitations sont déterminantes, tandis que le volume de trafic devient déterminant à partir d'environ 500'000 essieux normés.

L'expérience pratique montre que la forme géométrique du profil en travers a une influence déterminante sur la destruction de la surface de la route. Les routes bombées ont une influence favorable sur la durabilité, tandis que les profils en travers horizontaux ont une influence plutôt défavorable. Les données de LIENERT (1983) permettent de quantifier l'influence de la forme du profil en travers, de la pente longitudinale, de l'effet forêt/champ et partiellement de l'effet des précipitations (voir HEINIMANN, 1998).

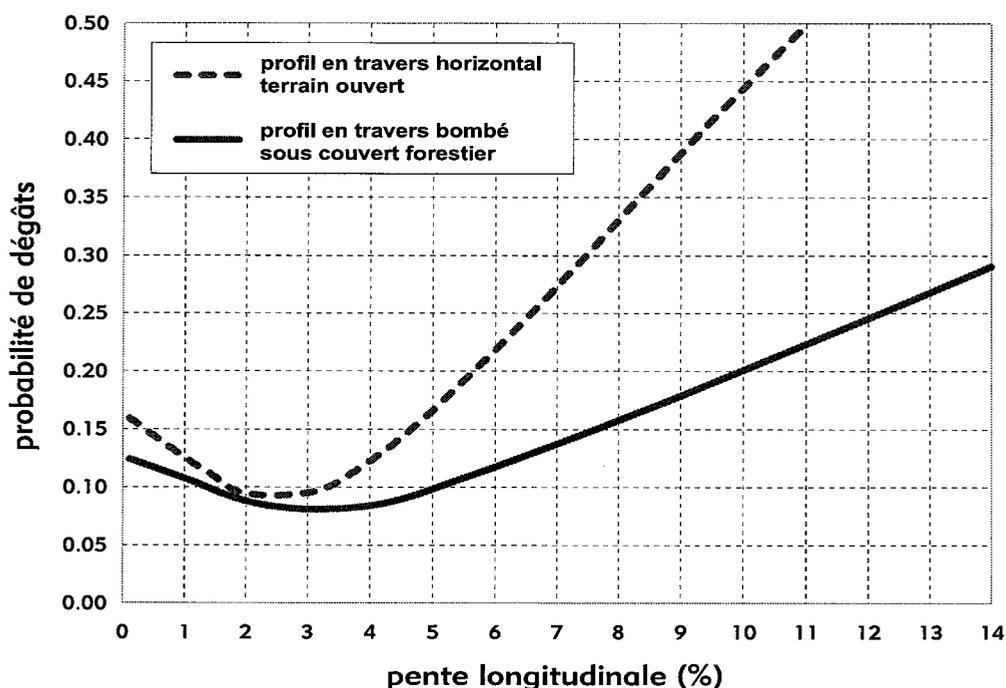


Fig. 11: **Probabilité de nids-de-poule et de rigoles d'érosion** (HEINIMANN, 1998). La probabilité de rigoles d'érosion sur les couches d'usure d'argile à l'eau augmentent énormément à partir d'une pente longitudinale de 6 %. Une chaussée bombée permet de réduire considérablement ce risque. Les nids-de-poule n'ont une importance que pour des pentes inférieures à 3 %.

La figure 11 montre un modèle basé sur ces données qui quantifie la probabilité des dégâts. La courbe inférieure se réfère à des profils en travers bombés, protégés du dessèchement et des fortes précipitations par le manteau forestier. La courbe supérieure indique la situation pour un profil en travers horizontal sur une route en plein champ. L'augmentation de la probabilité de dégâts à gauche en dessous d'une pente de 3 % est due à la formation de nids-de-poule, tandis que celle entre 3 et 14 % de pente se rapporte aux rigoles d'érosion croissantes. Trois classes de facteurs importantes doivent être prises en considération pour évaluer la durabilité en se fondant sur les réflexions de PATERSON (1991) et de HEINIMANN (1998):

- caractéristiques géométriques de la route (pente longitudinale, forme du profil en travers);
- conditions environnementales (protection par les houppiers, fortes précipitations). La sensibilité aux fortes précipitations d'une région peut être évaluée à l'aide des études de GEIGER ET AL. (1991). Il faut tenir compte des valeurs de fortes précipitations pour 2,33 ans.
- caractéristiques du matériau de la couche de fermeture qui déterminent la résistance à l'érosion.

Il faudra voir s'il est possible d'intégrer les valeurs de fortes précipitations de GEIGER ET AL. (1991) dans un modèle de dégâts tel qu'il est proposé à la figure 11.

## 4 Adaptation des valeurs de référence à l'état de la technique

### 4.1 Objectifs

Des valeurs de référence pour la géométrie des routes et chemins forestiers sont indiquées ci-après sur la base des réflexions exposées dans les chapitres précédents. Ces valeurs de référence doivent:

- être adaptées aux conditions actuelles (genre et équipement des véhicules);
- tenir compte du cadre légal;
- contribuer à réduire les coûts du cycle de vie des installations de desserte forestière et permettre des tracés ménageant le paysage;
- être évaluées de cas en cas sur la base d'un certain nombre de critères.

### 4.2 Pentes longitudinales et largeurs de chaussée

#### 4.2.1 Valeurs de référence pour les routes forestières

Le principe d'une pente longitudinale aussi faible que possible reste valable. Les pentes longitudinales optimales se situent en dessous de 10 %. Les pentes inférieures à 3 % devraient être évitées pour des raisons d'entretien des routes (formation accrue de nids-de-poule, voir figure 11). La valeur de référence de la VSS (norme SN 640110) de 12 % doit être maintenue.

La valeur limite de 15 % pour la capacité de démarrage telle qu'elle ressort des bases légales (art. 54 al. 3 OETV) devrait servir de valeur limite pour la pente maximale. Exceptionnellement, on peut admettre des pentes de 18 % qui sont prescrites comme limite pour le fonctionnement des freins de stationnement (annexe 7 OETV, al. 213, 243).

La figure 12 montre un schéma de détermination de la pente longitudinale maximale qui permet d'évaluer les valeurs maximales admissibles en fonction de la densité du trafic et de la rugosité de la chaussée. La fréquence d'utilisation des routes forestières et rurales se situe entre «plusieurs fois par jour» et «plusieurs fois par an». Il en découle des valeurs limites plus flexibles dont la limite inférieure se situe à 8 %, proche du réseau routier principal, la limite supérieure de 18 % étant fixée par la capacité (de fonctionnement) des freins de stationnement. Des pentes longitudinales de 18 % ne devraient toutefois être envisagées que dans des cas exceptionnels et bien motivés. Ces routes doivent être fermées au trafic ordinaire et devraient avoir un revêtement très rugueux.

adhérence du véhicule sur la route	forte (hors période de gel, surface rugueuse)	12	15	18
	moyenne (hors période de gel)	10	12	15
	faible (circulation toute l'année)	8	10	12
		plusieurs fois par jour	plusieurs fois par semaine	plusieurs fois par an
		fréquence d'utilisation		

Fig. 12: **Pente longitudinale limite en fonction de la fréquence d'utilisation et de la rugosité de la chaussée.**

La comparaison des largeurs de routes forestières avec différents modèles a montré que les valeurs de référence actuelles ne doivent pas être changées. La **largeur minimale de la chaussée de 3,2 à 3,3 m** sur les tronçons droits ressort des exigences minimales de la dynamique de la circulation et devrait être respectée pour des raisons de sécurité. Sur des routes raides, une largeur maximale de 3,40 (3,50) m peut être recommandée.

#### 4.2.2 Valeurs de référence pour les pistes de débardage

<i>Installation de desserte</i>	<i>Pente longitudinale maximale admissible (%)</i>	<i>Largeur minimale de la chaussée (m)</i>
<b>Piste de débardage</b>		
- Débardage à la montée	<b>jusqu'à 15 % 1)</b>	<b>3,00 à 3,50 m<sup>2)</sup></b>
- Débardage à la descente uniquement	<b>jusqu'à 25 %</b>	<b>3,00 à 3,50 m</b>

- 1) Cette valeur ne devrait en aucun cas être dépassée sur les sols dont la portance est inférieure à 3 % CBR (p. ex. flysch).
- 2) Si le transport s'effectue principalement au moyen de porteurs ou si l'on utilise des pneus basse pression de grande dimension, la largeur minimale de la piste de débardage ne devra pas être inférieure à 3,50 m, afin d'assurer une sécurité et une maniabilité suffisantes.

### 4.3 Revêtement de la chaussée

Le choix de la couche de fermeture s'effectue en priorité sur la base du critère de durabilité. Les études de PATERSON (1991) et de HEINIMANN (1998) permettent de remplacer le diagramme de HIRT par un nomogramme qui tient mieux compte de la non-linéarité de certains effets (figure 13).

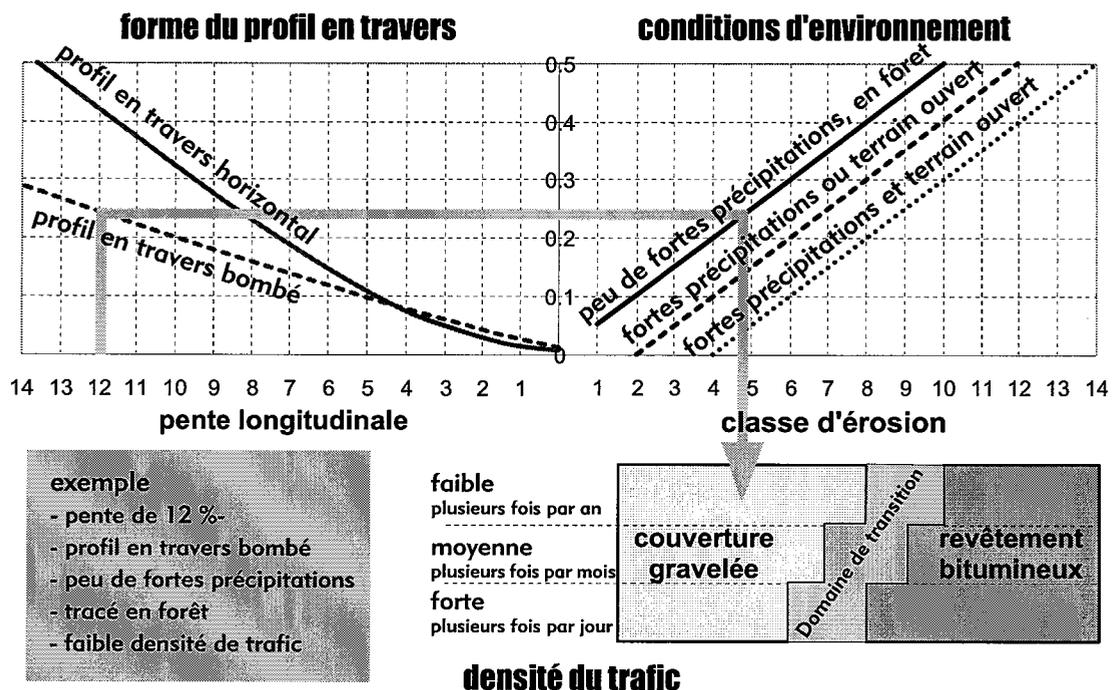


Fig. 13: **Diagramme pour le choix de la couche de fermeture des routes forestières et rurales.** Les paramètres sont (1) la pente longitudinale, (2) la forme du profil en travers, (3) les conditions d'environnement et (4) la fréquence du trafic prévue. L'utilisation du monogramme commence à gauche avec le choix de la pente longitudinale et se poursuit dans le sens des aiguilles d'une montre jusqu'à la fréquence du trafic.

L'évaluation commence par les caractéristiques géométriques à partir d'une pente longitudinale donnée, le critère suivant étant la forme du profil en travers, ce qui permet d'évaluer la sensibilité aux dégâts (valeurs d'ordonnée entre 0 et 0,5). La sensibilité aux dégâts est corrigée au moyen des facteurs environnementaux fermeture des houppiers et fortes précipitations puis comparée avec les fréquences de trafic que l'on peut attendre dans les classes route de desserte, route collectrice et route de liaison. Le nomogramme montre que, moyennant un bombage approprié et un faible trafic, une couche de fermeture gravelée convient même pour des pentes dépassant 10 %. Il est probable que la résistance à l'usure des couches de fermeture est influencée par les facteurs proportion de particules fines et indice de plasticité dans le sens du modèle de PATERSON (1991). Les indications concrètes à ce sujet font toutefois défaut.

## 5 Conclusions et perspectives

Le présent rapport est basé sur la réponse aux six questions suivantes:

1. Quelles sont les recommandations pratiques existantes dans les pays voisins dont les conditions sont comparables et sur la base de quels critères ont-elles été établies?
2. Quels sont les critères juridiques et techniques déterminants pour les pentes longitudinales maximales admissibles pour les routes forestières et les pistes de débardage?
3. Les pentes longitudinales peuvent-elles être déterminées par une méthode exacte sur la base de facteurs physiques?
4. Quelle est l'influence des critères de praticabilité comme la durabilité, la sécurité ou le confort du trafic?
5. Quels sont les critères déterminants pour la largeur des routes forestières et des pistes de débardage?
6. Quels sont les facteurs qui déterminent le choix du revêtement de la chaussée? Leur influence peut-elle être quantifiée?

La valeur limite de 12 % reconnue pour la pente longitudinale des routes forestières est née de l'expérience acquise à une époque caractérisée par le trafic mixte d'attelages hippomobiles et de camions. La limite rigide de 12 % devrait être remplacée par une solution flexible qui détermine la valeur limite de cas en cas dans une fourchette se situant entre 8 % et 18 %. Deux critères doivent être examinés : (1) la fréquence du trafic et (2) la rugosité du revêtement de la route. Des fréquences de trafic élevées et de faibles rugosités de la chaussée (p.ex. circulation hivernale) déterminent une valeur limite de 8 %, tandis qu'une valeur limite de 18 % est exceptionnellement admissible si le trafic est faible et le revêtement très rugueux.

La pente longitudinale a une influence primordiale sur la sensibilité de la chaussée à l'érosion. Le modèle d'évaluation reconnu de HIRT (1977) pour le choix de la couche de fermeture ne reproduit pas les influences variables des différents facteurs sous une forme répondant aux exigences des études quantitatives de l'évolution des dégâts sur les routes gravelées. Un nouveau modèle d'évaluation tient compte de l'importance différente de chacun des facteurs et quantifie l'influence des profils bombé et horizontal de la chaussée. Les routes gravelées bien bombées peuvent être recommandées même pour des pentes longitudinales dépassant 10 % lorsque le trafic est faible. Un bombage approprié a une influence plus importante sur la sensibilité à l'érosion des couches de fermeture gravelées que la quantité de précipitations.

La largeur minimale de la route est déterminée principalement par la largeur des véhicules. Jusqu'en 1955, la largeur maximale des camions était de 2,30 m en Suisse. Pour s'adapter aux directives de l'UE, la largeur admissible a été portée à 2,50 m en 1995 et à 2,55 m au printemps 1998. La largeur minimale des chemins à camions mentionnée dans les directives suisses précédentes était de 3 m. L'augmentation de la largeur admissible des véhicules nécessite une adaptation de la largeur minimale des routes forestières à 3,2 - 3,3 m.

Des développements comparables se produisent pour la largeur des pistes de débardage. L'amélioration des engins de débardage a entre autres pour but de réduire les dommages au sol qu'ils parcourent. Le remplacement du tracteur muni d'un treuil par le porteur et l'utilisation de pneus à basse pression a entraîné une augmentation de la largeur des véhicules au cours des dernières années. Une largeur minimale de 3 à 3,50 m sur les pistes de débardage est indispensable pour la sécurité de la circulation et pour le travail avec des grues.

Les recherches ont montré que certaines questions ont encore été trop peu étudiées. Des connaissances approfondies des situations critiques déterminantes («démarrage à la montée», «freinage à la descente») sont nécessaires pour pouvoir déterminer analytiquement la pente longitudinale admissible. Des recherches supplémentaires sur les coefficients d'adhérence et de frottement au roulement ainsi que sur les valeurs d'accélération et de décélération permettraient d'affiner les modélisations. La sensibilité et l'évolution des dégâts des chaussées gravelées ne sont que partiellement connues. L'influence de la variation de l'intensité des fortes précipitations et de la résistance à l'érosion des matériaux de la couche de fermeture a permis d'améliorer les modèles d'évaluation existants.

## Bibliographie

- Amstutz, U. (1981): Die Holztransporte in der Schweiz. Untersuchungsbericht der Schweizerischen Interessengemeinschaft Industrieholz. Ber. EAFV 222. Birmensdorf
- Anderson, P. and Sessions, J. (1991): Factors affecting maximum gradeability of a log truck around a curve. Transportation Research Record 1291: 15-19. Washington D.C.
- Anderson, P.T.; Pyles, M.R. and Sessions, J. (1987): The operation of logging trucks on steep, low-volume roads. Transportation research record 1106: 104-111. Washington D.C.
- Arbeitsgemeinschaft CULTERRA (1993): Flur- und Wanderwege heute: asphaltiert, betoniert, befestigt. Schaan FL
- Bayerische Forstverwaltung (1982): Richtlinien für die Erschliessung des Staatswaldes in Bayern vom 5. März 1982 (RES). Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München
- Baldini, S. (1988): Viabilità forestale: Forstliche Erschliessung. IV convegno nazionale di genio rurale, Porto Conte-Alghero 4-6 Maggio 1988. Rivista di ingegneria agraria, Quad 10/2: 542-547. Florenz
- Bews, D. (1991): In: Papers presented at the Fifth International Conference on Low-Volume Roads, Raleigh, North Carolina. Transportation Research Board. Washington DC
- Birrer, H.J.; Frieden, P.(1995): Forst- und Güterstrassen, Asphalt oder Kies? Schriftenreihe Umwelt Nr. 247. Dokumentationsdienst, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern
- Blumer, M. (1991): Strassenbau und Strassenerhaltung. Baufachverlag AG. Dietikon
- Bollinger, F.; Müller, U. (1990): Ländlicher Wegebau: alternative Möglichkeiten zur Befestigung der Oberfläche in steilen Lagen. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik 6/1990: 317-321.
- Burlet, E. (1980): Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau. Diss. ETH-Nr. 6711. Zürich
- Butora, A. (1978): Stammholztransport mit Lastwagen. Ber. EAFV 192. Birmensdorf
- Cain, C. (1981): Maximum grades for log trucks on forest roads. Eng. Field Notes. Vol. 13, No. 6. USDA Forest Service, Eng. Techn. Inf. Syst. Washington D.C.
- CEMAGREF (1981): Caractéristiques des voies et réseaux de desserte. Note technique n° 46. Ministère de l'agriculture
- Dengler, L. (1863): Weg-, Brücken- und Wasserbaukunde für Land- und Forstwirthe, 1. Aufl. Karlsruhe
- Dietz, P., Knigge, W. und Löffler, H. (1984): Walderschliessung. Ein Lehrbuch für Studium und Praxis. Parey-Verlag. Hamburg und Berlin
- Dietz, P. und Textor, H. (1978): Eignungsvergleich verschiedener Deckenbauweisen für Waldfahrwege. Forstarchiv 49/1978: 193-198. Hannover
- Dotzel, K. (1898): Handbuch des forstlichen Wege- und Eisenbahnbaus. Berlin

- EMA (1989): Interne Grundsätze für Wegebreiten, maximales Längsgefälle und Wahl der Deckschicht auf subv. Güterwegen. Eidg. Meliorationsamt. Bern
- Erlacher, G. (1991): Trassierung und Projektierung mit der Strassenachse. Oester. Forstzeitung 4/1991: 7-9. Wien
- Fankhauser, F. (1866): Leitfaden für die Bannwartenkurse im Kanton Bern. 1. Auflage. J. Heuberger. Bern
- Fankhauser, F. (1905): Leitfaden für Schweizerische Unterförster- und Bannwartenkurse. 4. Auflage. Fr. Semminger. Bern
- Fankhauser, F. (1938): Leitfaden für Schweizerische Unterförster- und Bannwartenkurse. 7. Auflage. Selbstverlag. Bern
- Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Strassenwesen (1987): Ländliche Strassen und Wege. RVS 3.8. Wien
- Fronsdal, J. (1980): Assembly roads in steep terrain. Tidkr-Skogbruk. Oslo, Norske skogselskap. 1980. V. 88 (1) p. 93-97.
- Gambard, J.M. (1987): Design of low-traffic roads in France. In: Minor rural roads. Planning, design and evaluation; In: Proceedings of a european Workshop: Minor rural roads. 129-134. Wageningen
- Gaumitz, B. (1991): Beziehungen zwischen Längsneigung, Schnittwinkel und Geländetyp bei der Walderschliessung. Forstarchiv, 62/3: 121-122. Alfeld
- Gaumitz, B. (1990): Festlegung von Fahrbahnbreiten forstlicher Abfuhrwege. Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden 39/6: 95-97. Dresden
- Gayer, K. (1863) Die Forstbenutzung. Carl Krebs. Aschaffenburg
- Geiger, H.; Zeller, J.; Rötthlisberger, G. (1991): Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes. WSL Birmensdorf
- Glennon J.C. (1979): Design and traffic control guidelines for low-volume rural roads. Transportation research board 214. Washington D.C.
- Gorton, F. (1985): Oesterreichischer Weg der landschaftsangepassten Trassierung von Forststrassen. Internat. Holzmarkt 12/76: 1-6. Wien
- Hafner, F. (1971): Forstlicher Strassen- und Wegebau. Agrarverlag. Wien
- Hafner, F. (1957): Das deutschsprachige Schrifttum über den Waldwegebau im Zusammenhang mit der geschichtlichen Entwicklung der Forstaufschliessung im dt. Sprachgebiet. Der Forst- und Holzwirt 12/1957: 267-270. Hannover
- Heinimann, H. R. (1998): Aggregate-surfaced forest roads – analysis of vulnerability due to surface erosion. In: Proceedings of the IUFRO/FAO Seminar on „Forest operations in Himalayan Forests with special consideration of ergonomic and socio-economic problems (Heinimann, H. R.; Sessions, J.; eds.). In press
- Henne, A. (1926) Waldwegbau. Sonderabdruck aus der Festschrift zum fünfzigjährigen bestehen der eidg. Inspektion für Forstwesen, Jagd und Fischerei. Lausanne
- Hess, E. (1945) Generelle Wegnetze. Schweiz. Z. Forstwesen 5,6/1945: 110-122. Zürich
- Hinterstoisser, H. (1990): Naturschutz fordert ökologische Mindeststandards für Forststrassen; Forststrassen als Störfaktor im landschaftlichen Gefüge. Oesterr. Forstzeitung 6/1990: 53-56. Wien

- Hirt, R. (1977): Bau- und Unterhaltskosten von Wald- und Güterstrassen. Schweiz. Z. Forstwesen 128/4: 199-217. Zürich
- Hirt, R. (1986): Belagwahl bei Wald- und Güterstrassen. Bündner Wald 7/86: 16-21. Chur
- Hirt, R. (1992): Erschliessung und Holzernte im Schweizer Berggebiet. In: Forsttechniker-Treffen 1992. 94 - 107. Birmensdorf
- Holz Wieser, O. (1990): Forststrassen - ein notwendiges Element der Waldbewirtschaftung. Oesterr. Forstzeitung, 6/1990: 57-60. Wien
- Jackson, R.K. and Sessions, J. (1987): Logging truck speed on curves and favorable grades of single-lane roads. Transportation Research Record 1106: 112-118. Washington D.C.
- Kollmer, K. (1988): Planning, design and realisation of minor rural road networks in German land consolidation projects. In: Proceedings of a European workshop on minor rural roads. 25 - 37. Wageningen
- Kuonen, V. (1983): Wald- und Güterstrassen. Planung - Projektierung - Bau. Eigenverlag. Pfaffhausen
- Kuonen, V. und Litzka, J. (1987): Ländliche Strassen. Planung - Bau - Erhaltung. Reihe Verkehrswesen 14. Wien
- Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen e.V. (KWK) (1976): RLW 1975. Richtlinien für den ländlichen Wegebau. Parey-Verlag. Hamburg und Berlin.
- Lienert, S. (1983): Zustand, Unterhalt und Ausbau von Wald- und Güterstrassen. Diss. ETH Nr. 7399. Zürich
- Lienert, S. (1986): Strassenunterhalt - Wahl der Deckschicht, Organisation des Strassenunterhalts, Strassenbenutzung - Fahrverbot. Bündner Wald 7 / 86: 50-56. Chur
- Lünzmann, K. (1968): Rechnerische Grundlagen, physikalische Einflussfaktoren und daraus abgeleitete Grenzen des Holztransportes. Forstwissenschaft. Centralblatt 1968: 100-125. Hamburg und Berlin
- Mc Nally, J.A. (1975): Trucks and Trailers and their Application to Logging Operations. A Reference Manual. Department of Forest Engineering, Univ. of New Brunswick Canada. Fredericton
- Moser, W. (1992): Die Feinerschliessung ein Luxus? Oesterr. Forstzeitung 7/1992: 40-42. Wien
- Oppermann, J. (1991): Wegeneu- und Ausbauten in den alten Bundesländern - Konzeption und Organisation. AFZ 26/46: 1350-1352. München
- Ou, Fong L. (1986): Road Standards and traffic Performance. Journal of forestry 5/84: 47-49. Washington D.C.
- Pampel, W.; Haschke, P.; Gaumitz, B. (1982): Holztransport. 303 S. Berlin
- Paterson, W.D.O. (1991): Deterioration and Maintenance of Unpaved Roads: Models of Roughness and Material Loss. Transportation Research Record 1291: 143-156. Washington D.C.
- Pestal, E. (1982): Forstaufschliessung morgen - Optimierung und Alternativen. AFZ 1/93: 8-11. Wien
- Pfeil, W. (1831) Forstbenutzung und Forsttechnologie. J. W. Boike. Berlin

- Porta, P. (1983): Anlage und Dimensionierung von Güterwegnetzen in traktorbefahrbarem Gelände unter spezieller Berücksichtigung der schweiz. Verhältnisse. Diss ETH Nr. 7398. Zürich
- Pozzati, A. und Cercato, M. (1984): Note pratiche sulla progettazione delle strade forestali (la parte). Italia forestale e montana 5/39: 263-274. Florenz
- RES (1982): Richtlinien für die Erschliessung des Staatswaldes in Bayern (RES). Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten. München.
- RLW (1975): Richtlinien für den ländlichen Wegebau (RLW 1975). Herausgeber: Kuratorium für Wasser und Kulturwesen, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft. Heft 103. Kommissionsverlag Paul Parey. Hamburg und Berlin
- Rodriguez (1986), nach Notario A: Untersuchungen zur generellen Erschliessungsplanung in den Wäldern der Republik Kuba unter Nutzung von Verfahren der Fernerkundung. Diss. Techn. Universität Dresden 1988, 191 S.
- Rowan, A.A. (1976): Forest Road Planning. Forestry commission booklet 43. London
- RVS (1987): Ländliche Strassen und Wege (RVS 3.8, Stand September 1992). Forschungsgesellschaft für das Verkehrs- und Strassenwesen. Wien
- SAFS (1989): Detailprojektierung: Grundlagen. Merkblätter über den Bau und Unterhalt von Wald- und Güterstrassen 111. Schweiz. Arbeitsgemeinschaft. f. forstl. Strassenbau. Zürich
- Scheppler, K. (1863): Der Waldwegebau und das Nivelliren (1. Aufl.). Aschaffenburg
- Scheidegger, F. (1984): Forstwege in Beton. Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtech. 1/84: 8-12. Zürich
- Schlaghamersky, A. (1987): Feinerschliessung von Waldbeständen. Rat. Kuratorium f. Landwirtschaft / 6.1.3. 111 - 212. Kiel
- Schönauer, H. (1983): Forst- und Güterwege – Grundlage der Bewirtschaftung des ländlichen Raumes. AFZ 94/10: 257-259. München
- Schuberg, K. (1875): Der Waldwegebau, Band 2. Karlsruhe
- Schwab, P. (1986): Holzernte im Winter; Holzlieferung im Gebirgswald; Landschaftsschonender Forststrassenbau: in alpine Umweltprobleme. Beiträge zur Umweltgestaltung XX-XXII: 13-62. Berlin
- Schwarzer, W. (1987): Geschwindigkeit auf Stadtstrassen und ihr Einfluss auf die Fahrspurbreite. DIE STRASSE 1987/3: 70-74.
- Schweiz. Eidgenossenschaft (1992): Bundesgesetz über den Wald (Waldgesetz, WaG) vom 4. Oktober 1991 (SR 921.0). Bern
- Schweiz. Eidgenossenschaft (1992): Strassenverkehrsgesetz (SVG) vom 19. Dezember 1958 (Stand 1.1.92) (SR 741.01). Bern
- Schweiz. Eidgenossenschaft (1991): Verkehrsregelnverordnung (VRV) vom 13. November 1962 (Stand 1.7.91) (SR 741.11). Bern
- Schweiz. Eidgenossenschaft (1992): Verordnung über Bau und Ausrüstung der Strassenfahrzeuge (BAV) vom 27. August 1969 (Stand 1.7.92) (SR 741.41). Bern
- Schweiz. Eidgenossenschaft (1995): Verordnung über technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) vom 19. Juni 1995 (SR 741.41). Bern

- Sedlak, O. (1983): General Principles of planning forest road nets in: Logging and transport in steep terrain. FAO forestry paper 14 Rev. 1 / 1985: 17-36. Rom
- Sessions, J.; Stewart, R.; Anderson, P. and Tuor, B. (1986): Calculating the maximum grade a log truck can climb. Western Journal of applied Forestry; 1(2)/1986: 43-55.
- Skaar, R. (1988): Truck Transportation Systems and Forest Road Standards. Medd.Nor.inst.skogforsk. 41.28: 383-394. Oslo
- Stoetzer, H. (1913) Waldwegebaukunde. 5. Auflage. Frankfurt a. Main
- Tognini, F. (1989): Konzept der "langen Strasse" für den schweizerischen Alpenraum. Schweiz. Z. Forstwesen, 140/1: 57-71. Zürich
- Trzesniowski, A. (1990): Walderschliessung im Gebirge Oesterreichs. Forstarchiv 61/1: 22-25. Wien
- Trzesniowski, A. (1992): Perspektiven der Forstarbeit im Gebirge Oesterreichs. In Tagungsbericht zum 19. Forsttechnikertreffen. WSL. Birmensdorf
- UN Food and Agriculture Organisation (FAO) (1977): Planning forest roads and harvesting systems. FAO forestry paper 2/1977. Rom
- UN Food and Agriculture Organisation (FAO) (1989): Watershed management field manual. Road design and construction in sensitive watersheds. FAO conservation guide 13/5. Rom
- VSS (1983): Linienführung: Elemente der vertikalen Linienführung. Schweizer Norm SN 640110. Vereinigung Schweiz. Strassenfachleute. Zürich
- VSS (1992): Geometrisches Normalprofil: Grundabmessungen und Lichtraumprofil der Verkehrsteilnehmer. Norm SN 640201. Vereinigung Schweiz. Strassenfachleute. Zürich
- Walbridge, T.A. jr (1986): All about forest Roads. American forests 3/92: 40-43, 65-66. Washington D.C.
- Weber, R. (1977): Zur Anlage eines Güterwegnetzes. Veröffentlichung Institut f. Kulturtechnik 65, ETH Zürich. Zürich
- Weiger, F. (1984): Entwicklung und Zielsetzung der Walderschliessung in Baden-Württemberg. AFZ 42/1984: 1042-1044. München
- Wenger, K. F. (1984): Forestry Handbook. Forest Road Engineering. 1041-1087. Wiley. New York
- Wolf-Drack, F. (1993) Feinerschliessung in schlepperbefahrbarem Gelände. Oester. Forstzeitung 7/1993: 18-19. Wien
- Wüthrich, W. (1992): Die Feinerschliessung von Waldbeständen - Planung, Anlage und Benützung. Ber. EAFV 332. Birmensdorf.

# Index

- accélération 21, 23  
adhérence 5, 24  
adhérence des véhicules 5  
Allemagne 10, 14, 17, 27  
Alpes 6  
aménagement 21  
Amérique du Nord 12  
appréciation 19  
aptitude à monter 25  
atteintes écologiques 9  
attraction terrestre 21, 23  
Autriche 10, 14  
axes horizontal et vertical 8  
bande de sécurité 16, 27, 28  
bandes perpendiculaires 28  
banquettes 15  
bordures 15  
camion 6, 12, 20, 21  
camions chargés 24  
camions grumiers 12  
camions vide 24  
capacité de démarrage 20, 32  
capacité de freinage 20  
capacité de monter 12  
caractéristiques du matériau 31  
caractéristiques du sol 15  
catégories de routes 13  
chaînes 24  
chaussée 5  
chaussées gravelées 36  
chemin forestier 5, 11  
choix du revêtement 7, 18  
cisaillement 23  
cisaillement maximal 23  
coefficient d'adhérence 22, 23, 24, 25, 26, 36  
coefficient de frottement 22, 36  
coefficient de résistance au roulement 26  
comparaison internationale 17  
composantes de la route 9  
composition du trafic 16  
conditions actuelles 5  
conditions d'environnement 34  
conditions de précipitations 30  
conditions juridiques 20  
conditions topographiques difficiles 10, 12  
conflits 12  
confort 20  
confort de la circulation 21  
confort du trafic 6, 35  
construction de la route 20  
couche d'usure 9  
couche de fermeture 5, 18, 31, 34, 35  
courbes 9  
coûts d'entretien 12, 21  
coûts de construction 8, 21  
coûts du cycle de vie 32  
critères 20, 21  
critères déterminants 5, 7, 25, 35  
critères écologiques 26, 28  
critères économiques 26, 28  
critères fonctionnels 26, 28  
critères juridiques 6, 35  
critères techniques 6, 35  
cycle de vie 21  
débardage à la descente 33  
débardage à la montée 33  
déflexion 17  
dégâts d'érosion 9, 12  
dégradation de la surface 18  
démarrage à la montée 22, 23  
densité de la desserte 6  
densité du trafic 8, 16, 20, 29, 32  
descente 22  
descente à pleine charge 24  
desserte 6  
desserte forestière 8  
dévers latéral 15  
dimensionnement des routes 8  
dimensions des véhicules 20  
dimensions maximales des véhicules 26  
direction de transport 15, 25  
direction du débardage 14  
directives 5, 6, 12, 14, 17, 19  
droites 9  
durabilité 6, 20, 21, 29, 30, 31, 34, 35  
durée d'utilisation 8  
économies au niveau des coûts 12  
effet de desserte 12  
effet forêt/champ 30  
effets de morcellement 9  
éléments géométriques 5, 8  
empierrement de la route 16  
engins de débardage 17, 25, 26, 28, 36  
enseulement 18, 29  
entretien 12, 20  
entretien de la route 10  
essieu normé 29, 30  
essieux moteurs 20  
Europe 12  
évolution des dégâts 36  
évolution historique 10, 11, 12  
exigences de trafic 8  
facteur de la largeur maximale 27, 28  
facteur de vitesse 27, 28  
facteurs d'environnement 22  
facteurs déterminants 7  
facteurs physiques 6, 15, 26, 35  
fonction de desserte 6  
fonctionnalité 21  
formation de nids-de-poule 32  
forme du profil en travers 34  
fortes précipitations 18, 31, 34, 36  
frais d'entretien 8  
France 10, 14, 17  
freinage 22  
freinage à la descente 22, 23  
freins de stationnement 20, 32  
fréquence du trafic 34, 35  
géométrie des routes forestières 6  
géométrie du véhicule 22  
grues hydrauliques 29  
hiver 24  
indice de plasticité 30, 34  
installations de desserte 5, 32  
installations de drainage 12  
intempérie exceptionnelle 5  
intensité des précipitations 19  
largeur 5, 7, 35  
largeur carrossable 17  
largeur de la chaussée 15, 16, 26, 27, 28  
largeur des pistes de débardage 6, 19  
largeur des routes forestières 6, 19, 33  
largeur des véhicules 36  
largeur maximale 28, 29  
largeur maximale des véhicules 27  
largeur minimale 5, 17, 19, 28, 29, 35  
largeur minimale de la chaussée 17, 33  
lignes directrices 21  
loi sur la circulation routière 20  
maintien de la route 9  
maniabilité 19, 33  
maniabilité des véhicules 9  
marge de manoeuvre 27, 28, 29  
matériau de la couche de fermeture 30, 36  
modèle d'évaluation 35  
modèle de dégâts 30  
neige tassée 24  
nids-de-poule 9, 31  
pays alpins 17  
pays voisins 6, 10, 17, 19, 35  
pente 5, 18  
pente limite 15, 22, 24, 25, 26  
pente longitudinale 6, 11, 12, 19, 20, 29, 30, 31, 32, 34, 35  
pente longitudinale admissible 21, 22, 36  
pente longitudinale limite 13, 33  
pente longitudinale maximale 11, 12, 32  
pente longitudinale maximale admissible 6, 9, 11, 12, 14, 15, 20, 21, 25, 33, 35

- pente maximale 24, 32  
 pente maximale admissible 5, 6, 10, 11, 14  
 performance à la montée 10, 15  
 perte de surface 9  
 piste de débardage 5, 7, 14, 15, 17, 25, 33, 35, 36  
 places à tourner 15  
 places d'empilage 6  
 places d'évitement 15, 26  
 places de façonnage 6  
 planification 6  
 planification de la desserte forestière 11  
 pneus à basse pression 26, 33, 36  
 pneus larges à basse pression 29  
 poids d'adhérence 20, 24  
 portance du sol 25, 26  
 porteur 17, 29, 33, 36  
 praticabilité 35  
 Préalpes 6  
 précipitations 18, 29, 30  
 probabilité des dégâts 31  
 processus de transport 5, 6  
 processus de détérioration 29  
 profil d'espace libre 15, 27, 28  
 profil en travers 6, 8, 9, 15, 16, 26, 30, 31, 34  
 profil en travers bombé 31  
 profil en travers horizontal 31  
 profil géométrique 6  
 proportion de particules fines 30, 34  
 protection de la nature 8, 12  
 puissance utile 20  
 recommandations 6  
 recommandations pratiques 35  
 réglementation en vigueur 5, 15  
 rentabilité 20, 21  
 répartition des charges 22  
 résistance à l'érosion 36  
 résistance à l'usure 30  
 résistance à la montée 15, 22  
 résistance au roulement 21, 22, 23  
 résistance de l'air 21, 23  
 résistance maximale au cisaillement 21  
 revêtement de la chaussée 5, 15, 25, 29, 35  
 rigoles d'érosion 18, 31  
 risque d'érosion 18, 28, 29  
 roues motrices 23  
 route collectrice 34  
 route de desserte 34  
 route de liaison 34  
 route forestière 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 18, 20, 26, 27, 28, 29, 32, 34  
 route gravelée 18, 35  
 route rurale 34  
 rugosité de la chaussée 32  
 rugosité du revêtement 35  
 salissure du revêtement 5  
 schéma d'évaluation 18, 19  
 sécurité 6, 20, 21, 24, 26, 33  
 sécurité de la circulation 17, 19, 36  
 sécurité du trafic 9, 16, 20, 28, 35  
 sensibilité à l'érosion 5, 35  
 sensibilité aux dégâts 34  
 situations critiques 22, 23  
 sud des Alpes 6  
 Suisse 6, 10, 11, 14, 17, 21, 29  
 surface de la chaussée 21, 22, 24, 30  
 surface de la route 30  
 surlargeur dans les courbes 15  
 surlargeur de sécurité 27, 28  
 sylviculture 6  
 talus 15  
 technique d'exploitation 12  
 technologie des transports 6, 11, 12  
 tracé 8  
 tracé de l'axe 6  
 tracé horizontal 9  
 tracé vertical 9  
 tracteur à pince 29  
 tracteur à pince de débardage 17  
 tracteur à treuil 29  
 tracteur agricole 17  
 tracteur forestier 17  
 tracteur muni de treuil 17, 26, 36  
 tracteurs 15  
 tracteurs agricoles conventionnels munis de treuil 29  
 trafic 18, 19, 26, 29  
 trains routiers 21  
 transport à la descente 11, 14, 26  
 transport à la montée 11, 14, 26  
 transports de bois 11  
 type de véhicules 20  
 Union européenne 6, 16, 19  
 utilisabilité 21  
 valeurs de référence 5, 10, 14, 15, 17, 32, 33  
 valeurs de référence adaptées 7  
 valeurs de référence en vigueur 7, 15  
 véhicules 17, 20, 22  
 véhicules à moteur 20  
 véhicules de débardage 15  
 véhicules de transport 21  
 verglas 24  
 vitesse de projet 27, 28  
 vitesse prévue 9, 26  
 zones de glissements 12