

**Zeitschrift:** Jeunesse et sport : revue d'éducation physique de l'École fédérale de gymnastique et de sport Macolin  
**Herausgeber:** École fédérale de gymnastique et de sport Macolin  
**Band:** 37 (1980)  
**Heft:** 3

**Artikel:** La technologie du ski alpin  
**Autor:** Woehrlé, Maurice  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-997266>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 07.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**



# THÉORIE ET PRATIQUE

## La technologie du ski alpin

Maurice Woehrlé

tiré de la revue «La Recherche», janvier 1980

Depuis les skis en bois des hommes préhistoriques, ces engins d'abord utilitaires puis sportifs ont connu un développement considérable. Plusieurs facteurs ont contribué à leur évolution: la technique des skieurs et surtout celle des champions, la mise au point de matériaux nouveaux et... la mode.

Pour comprendre le comportement du ski sur neige, quantifier les effets et décider du choix des matériaux, les constructeurs ont envisagé deux approches: les tests en laboratoire et les essais sur terrain. Depuis peu, ils s'orientent vers la simulation sur ordinateur. Le ski alpin n'est plus seulement un sport, c'est aussi une aventure technique.

L'origine du ski se perd dans la Préhistoire. Des gravures rupestres découvertes en Norvège et des skis fossiles trouvés dans une tourbière à Hoting, en Suède, indiquent que le ski se pratiquait déjà 2500 ans avant notre ère. On a de bonnes raisons de croire que les skis étaient également connus dans l'Altaï et en Mandchourie, huit siècles avant Jésus-Christ. Dès l'origine, ils ont une forme longiligne et une partie avant relevée et effilée (la spatule). Une telle géométrie révèle que les skis, par opposition aux raquettes, ont été conçus pour glisser en terrain dégagé et peu accidenté. Si cette forme a été conservée au cours du temps, la longueur des skis semble, elle, avoir continuellement varié suivant les régions. Il y a cependant une exception: pendant près de 2000 ans, les Lapons ont utilisé des skis de longueur inégale, l'un très court et recouvert de peaux pour prendre l'élan sur la neige et l'autre long, étroit et pourvu d'une rainure de guidage dans la face inférieure pour le glissement.

Les premiers skis étaient bien évidemment faits en bois; taillés dans des branches de pin, de bouleau ou de chêne que l'on choisissait de forme convenable pour réaliser la spatule. Ce n'est qu'ultérieurement que l'on a su former la spatule, en séchant dans un four le bois maintenu courbé.

Jusqu'à la fin du XIXe siècle, le ski était un moyen de déplacement utilisé dans les campagnes pendant la mauvaise saison et à la guerre.

Aussi, les skieurs n'utilisaient qu'un seul bâton pour l'équilibre et la propulsion, la main restée libre servant à tenir l'arme de chasse ou de guerre. Le ski sportif n'apparaît qu'en 1830. Les Norvégiens qui se livraient déjà à des courses d'endurance organisèrent, cette année-là, le premier concours de saut dans le Télémart et fondèrent le premier club de ski, le Ski Club Christiania en 1883.

Outre-Atlantique, les skis ne sont introduits qu'en 1850, lorsque débarquèrent dans le Nevada et en Californie des bûcherons norvégiens, attirés par la ruée vers l'or. Les moins chanceux redevinrent bûcherons et organisèrent les premières courses sur le continent américain, épreuves de vitesse pure, en ligne droite avec départ en ligne. En France, il faut attendre 1879 pour voir, à Chamrousse, le Grenoblois Henry Duhamel se lancer sur la neige; ce ne fut pas sans difficulté, car son fournisseur suédois avait omis de lui préciser comment lier les chaussures aux skis!

L'introduction dans les Alpes du vieux ski de marche scandinave a donné naissance à un engin nouveau, adapté aux fortes pentes et aux neiges glacées, alors que dans son pays d'origine l'évolution conduisait vers les skis de fond, minces et légers comme des javalots. Les débuts de ce nouveau ski, que nous appelons le ski alpin, peuvent être fixés à 1910 avec la

fameuse école de l'Arlberg créée par Hans Schneider. Celui-ci y enseignait le stembogen, une nouvelle technique de virage, adaptée à l'inclinaison de nos pentes, qui ne pouvait être maîtrisée qu'avec de tels skis.

### Les pères du ski alpin

C'est encore au Télémart que, vers 1850, Sondre Nordheim imagina de fixer le talon de la chaussure du skieur contre le ski. Il eut surtout l'idée, remarquable pour l'époque, de donner aux côtés du ski une forme concave. Avec un avant et un arrière plus larges que la partie centrale, respectivement de 18 et 8 mm environ, le ski devient apte à entretenir de lui-même le virage déclenché par le skieur. Cette géométrie, qui fut conservée par la suite, est désignée en France sous le nom de «ligne de côtes» ou «taille de guêpe».

Une deuxième étape dans l'évolution des skis alpins allait porter sur l'allègement, sans pour autant diminuer la résistance à l'usure de la face inférieure. Dès 1891, des recherches étaient conduites, toujours au Télémart, pour associer par collage deux essences de bois différentes, du frêne pour la semelle et un bois plus léger pour la lame supérieure. Mais ce n'est qu'en 1930 que l'idée se vulgarisa et devint un procédé courant de fabrication.



Sur cette photo d'un tableau scandinave rappelant une scène ancienne, on voit deux guerriers en position de défense chaussés de skis en bois. Leur forme est intermédiaire entre celle du ski de marche et celle du ski de fond, long, étroit et très recourbé à l'avant. L'introduction de ces skis, dans les Alpes, a donné naissance au ski alpin en 1910.

## Les techniques d'assemblage dans la fabrication des skis

La fabrication des skis relève à la fois des techniques de collage et des techniques de moulage. Elle revient, en effet, à solidariser dix à vingt éléments faits de matériaux très différents.

Tous les procédés d'assemblage reviennent à créer une liaison de type adhésif. On distingue trois techniques d'assemblage :

- L'assemblage par collage qui s'applique dans le cas où tous les éléments du ski sont à l'état solide. On emploie alors des adhésifs epoxy ou phénoliques que l'on applique sous forme liquide (pinceau, encolleuse, machine à rideau) ou en film.
- L'assemblage par moulage qui concerne les skis à armature de fibre de verre et éventuellement de carbone ou de polyamide aromatique, dans le cas où le verre est mis en place dans le moule avec une résine de stratification pas encore polymérisée. Dans ce procédé, la résine va fluier. Elle se mélangera à l'adhésif ou jouera le rôle d'adhésif. Ce sera donc obligatoirement une epoxy.

Bien que ce type d'assemblage soit appliqué, la plupart du temps avec des noyaux solides, il englobe le cas des skis à noyau creux. Un des procédés de réalisation de cette structure consiste à disposer dans le moule, à la place du noyau, des tubes souples et étanches, enveloppés de fibre de verre que l'on gonfle quand le moule est sous presse.

- Enfin, le procédé *in-situ* qui, sous cette dénomination couvre les procédés de fabrication dans lesquels on moule le noyau (en polyuréthane) à l'intérieur du ski lui-même. Les différents éléments du ski sont conçus de manière à pouvoir être disposés en caisson à l'intérieur du moule. Cette technique est très séduisante. Elle supprime la fabrication préalable du noyau et elle accélère considérablement la cadence de moulage, car le polyuréthane s'expande et durcit en trois minutes, alors que la résine epoxy polymérise en quinze minutes. Par contre, elle implique la réalisation de certains préassemblages, car le polyuréthane ne peut solidariser que les quatre faces internes du caisson dans lequel il s'expande. Ce procédé n'est finalement économique que dans le cas de structures relativement peu élaborées.

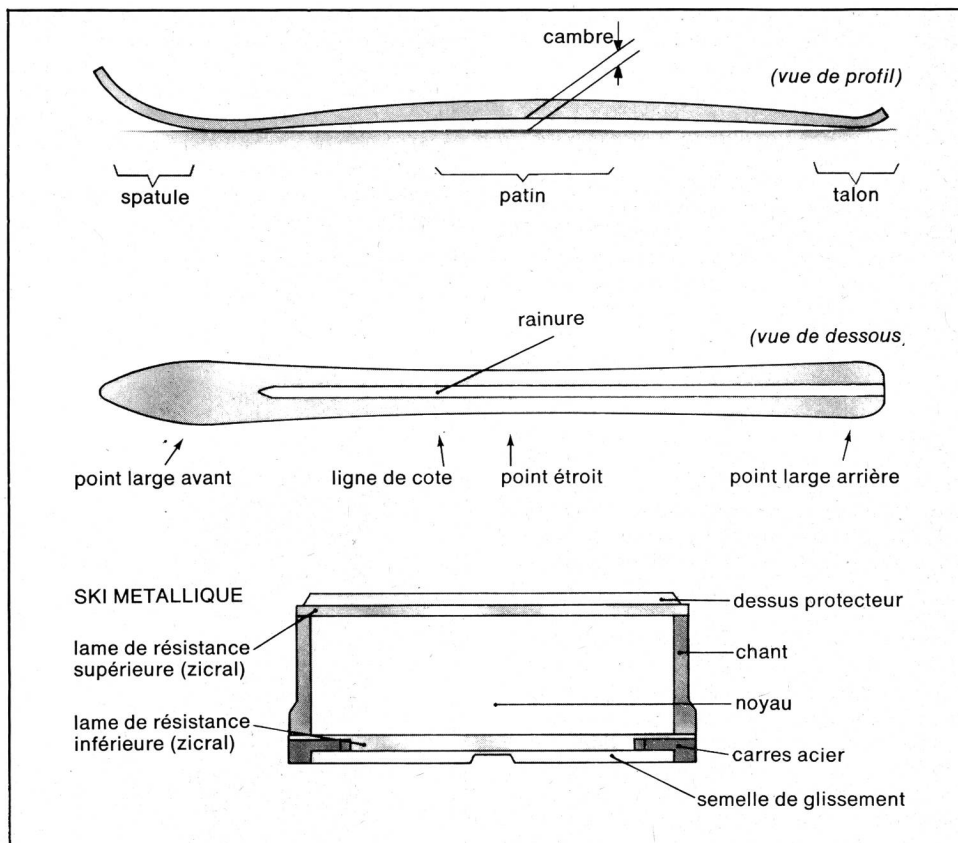


Figure 1: Le ski alpin a l'allure d'une lame de ressort. Epais de 15 à 20 mm dans sa partie centrale (patin), il s'amincit à 5 à 8 mm aux extrémités. Il se prolonge à l'avant dans une partie recourbée (la spatule). A l'arrière du ski, cette géométrie est moins accentuée, le talon ne mesure que 4 à 6 cm. Vu de dessous, on distingue la concavité des lignes de côtes qui lui donne sa forme en «taille de guêpe» et sa rainure. En coupe on visualise la structure, celle d'un ski métallique dans le cas présent. Elle comprend le noyau qui occupe une fraction importante du volume total, une semelle de glissement et un revêtement protecteur collé à la lame de résistance supérieure. Le noyau est protégé de l'humidité par les chants qui servent aussi de support aux carres en acier. La construction est légèrement modifiée dans le cas des skis en fibre de verre.

Les premiers skis alpins français furent fabriqués en 1907 par l'école des skieurs militaires, du 159<sup>e</sup> régiment d'infanterie de Briançon. Le capitaine Rivas, ayant entrepris d'enseigner la fabrication des skis aux recrues de la région, mit au point une série de procédés rustiques, extrêmement ingénieux et simples, pour fabriquer des skis, des bâtons et des fixations. Les skis étaient en bois massif, la courbure longitudinale (ou cambre) et la courbure de la spatule étaient formées en séchant la planche, serrée entre deux formes, dans un four de boulanger. C'est à cette époque que naît la première firme française de ski, fondée par Abel Rossignol. Il déposera en 1939 un brevet sur le contre-collage, procédé qui permet de donner au ski un cambre et une courbure de spatule durables. Un autre problème majeur : l'usure des bords inférieurs du ski. L'idée de les protéger avec des

arêtes métalliques est ancienne (traversée du Groenland par Fridtjof Nansen, en 1888) mais il manquait un procédé de fixation convenable. Les carres ne se généralisèrent que vers 1930 sous la forme d'éléments en laiton ou en acier fixés par des vis spéciales. Malheureusement le métal glisse mal sur la neige ; aussi pour en réduire ce frottement, Paul Michal inventa en 1949 la carre cachée. Cette carre possède deux branches en forme de L, l'une est apparente, l'autre vissée au ski est masquée par la semelle en plastique. Celles-ci furent d'abord en cellulose, puis en polyéthylène (1955), grâce à Kofler qui solutionne le difficile problème du collage de ce matériau en lui adjoignant un support toilé. Plus récemment, l'évolution du ski a surtout visé l'amélioration de son comportement sur neige qui dépend de sa structure et des matériaux utilisés. Des noms de grands champions

sont liés à ces étapes: Adrien Duvillard et Jean Vuarnet pour les skis métalliques, Karl Schranz pour les skis en fibre de verre.

### Pas de skis sans chaussures ni fixations

Nous ne pouvons pas parler des skis sans évoquer les chaussures et les fixations. Jusqu'en 1937, date de l'apparition des premières remontrées mécaniques, les chaussures sont souples et les fixations laissent le talon libre de se soulever. Par la suite, on cherche à assurer le maintien latéral du pied, d'abord avec l'introduction en 1850, par M. Zdarsky, d'une plaque métallique, puis d'un étrier en 1894. Le talon ne sera définitivement bloqué qu'en 1937 lorsque les fixations comprendront un étrier qui maintient l'avant de la chaussure et de longues lanières qui entourent le pied et le plaquent sur le ski. Les premières fixations de sécurité datent des années 50. Elles ont un mécanisme qui libère l'étrier ou le câble en cas d'effort excessif. Elles évoluent ensuite vers des systèmes à deux éléments, une butée avant qui se déclenche en rotation et une plaque pouvant pivoter sous le talon. L'abandon de la longue lanière qui était dangereuse, mais qui avait l'avantage de brider assez fermement la cheville et le pied, à travers la chaussure, oblige les fabricants à raidir ces dernières. Mais les premières chaussures ne sont pas au point. Elles s'assouplissent prématurément à la jonction entre l'empeigne et la semelle. Ce défaut s'aggrave avec l'utilisation des fixations de sécurité à talonnière débrayable, car la liaison ski-chaussure est alors localisée au niveau de la semelle. Le procédé de surmoulage d'une semelle plastique emboîtant largement la base de l'empeigne apporte une solution transitoire, quand, en 1965, Bob Lange parvient à mettre au point la chaussure intégralement en plastique moulé. En trois ans, les chaussures traditionnelles seront balayées du marché.

### Un skieur sur des skis

La forme du ski alpin a été étudiée pour répondre à certaines exigences. Le ski doit être utilisable sur tous les types de neige et répondre aux sollicitations exercées par le skieur et le terrain. Il doit être souple mais indéformable (fig. 1). Ce n'est donc pas un hasard s'il a l'allure d'une lame de ressort. Un ski doit, avant tout, glisser en ligne droite en restant stable. C'est pourquoi sa semelle comporte presque toujours une rainure de guidage. Elle intervient lorsque le ski est à plat sur la neige et contribue à sa stabilité transversale, sauf sur la glace. Il faut aussi que

sa forme l'empêche de plonger dans la neige profonde, d'où l'utilité de la spatule, et de «frotter» à l'arrière, d'où un talon légèrement courbé. Si glisser sur la neige est le but recherché, sur la glace, la situation est différente: il faut contrôler la trajectoire en assurant l'accrochage du ski. La largeur du «patin» est alors fondamentale: plus le ski est étroit, plus il est accrocheur (fig. 2).

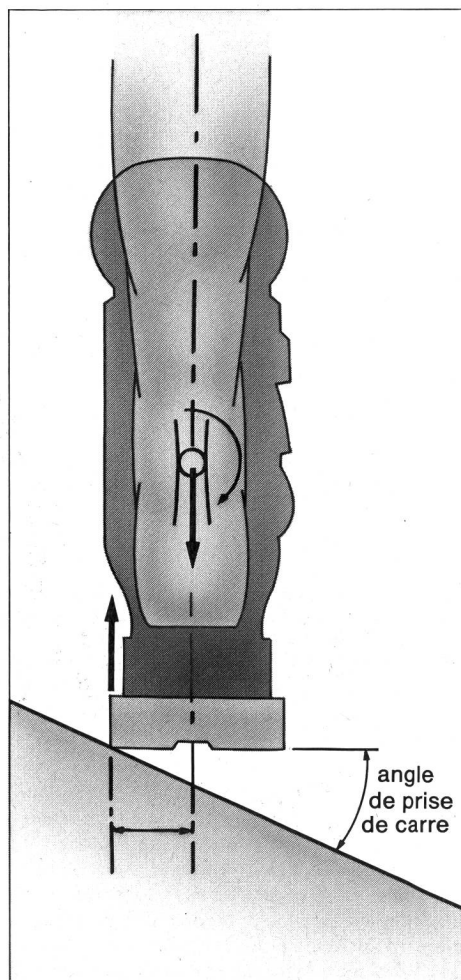


Figure 2: La largeur au patin conditionne en partie la puissance de l'accrochage sur la glace et sur la neige dure. Plus le ski est étroit, plus il est accrocheur. Il s'agit d'un effet de levier au niveau de la cheville du skieur. Le moment de flexion appliqué à la cheville est proportionnel à la demi-largeur du ski. Avec un ski étroit, le skieur parvient mieux à maintenir un fort angle de prise de carre.

Un ski doit aussi être apte à décrire des virages et c'est à ce niveau que la forme de la ligne de côtes, et notamment sa concavité, joue. Les skis à ligne de côtes très creuse sont plus direc-

tifs, car la pression qu'exerce la carre sur la neige se distribue davantage vers les extrémités (fig. 3B).

Mais la présence du skieur sur les skis induit plus d'un effet sur leur comportement. La nature des forces en présence est très différente selon que le skieur glisse en trace directe ou glisse en virage (fig. 4). Dans le premier cas, la force motrice est la composante de la pesanteur parallèle à la pente et les forces antagonistes résultent de la résistance de l'air et du frottement du ski sur la neige. Les phénomènes de frottements du ski sur la neige sont extrêmement complexes et encore mal connus. Le glissement du ski dépend de la répartition des pressions qu'il exerce sur la neige (fig. 3A), des vibrations qu'il subit, de la nature et de l'état de surface de la semelle, et, évidemment, de la qualité de la neige. On admet que le frottement du ski provoque une fusion qui se cantonne au sommet des microreliefs de la neige. Deux types de solutions ont été imaginés pour minimiser ces forces: le premier est passif et consiste à améliorer le glissement en appliquant du fart. Il s'agit de produits hydrofuges à base de paraffine. Leur composition est plus ou moins secrète. À côté de farts relativement polyvalents, il existe des farts adaptés à des températures et des qualités de neige bien précises. En compétition, le choix du bon fart est parfois délicat, car il existe une quasi-infinité de types de neige ou de mélanges de neige et, de plus, quand la température est voisine de 0°C, elles évoluent très rapidement. Le second est actif et fait intervenir le skieur. Pour minimiser les résistances de l'air, les coureurs prennent une attitude basse, dite position de recherche de vitesse, et s'habillent de combinaisons près du corps. Le skieur peut aussi favoriser le glissement en relâchant suffisamment les chevilles pour que le ski ait la liberté de se mettre à plat sur les petites inégalités du terrain. Un bon descendeur est avant tout un bon glisseur. Les forces mises en jeu au cours d'un virage sont celles du glissement en trace directe à l'addition près de la force centrifuge. Le skieur doit être incliné vers l'intérieur du virage pour lutter contre cette force centrifuge et contre les forces de frottement que le ski, en travers par rapport à la trajectoire, génère au niveau de la neige. Un virage est un mouvement composé d'un déplacement vers l'avant, d'un dérapage et d'un pivotement (fig. 5). De l'amplitude du dérapage va dépendre la technique du virage. Lorsqu'elle est faible, le virage est dit coupé: c'est typiquement le cas en slalom géant. Par contre, elle est largement prépondérante dans un virage dit dérapé, figure couramment exécutée par les skieurs en slalom spécial (pente forte



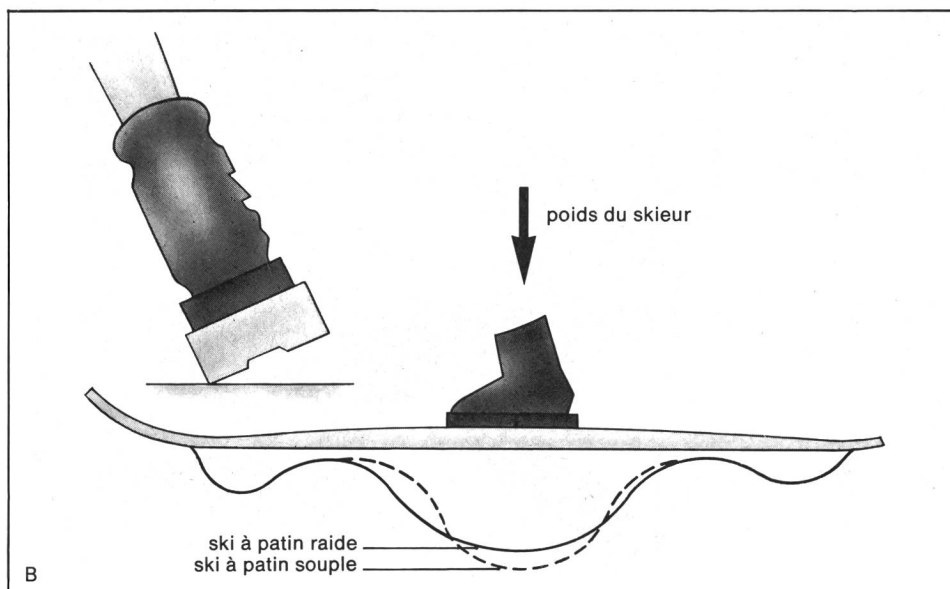
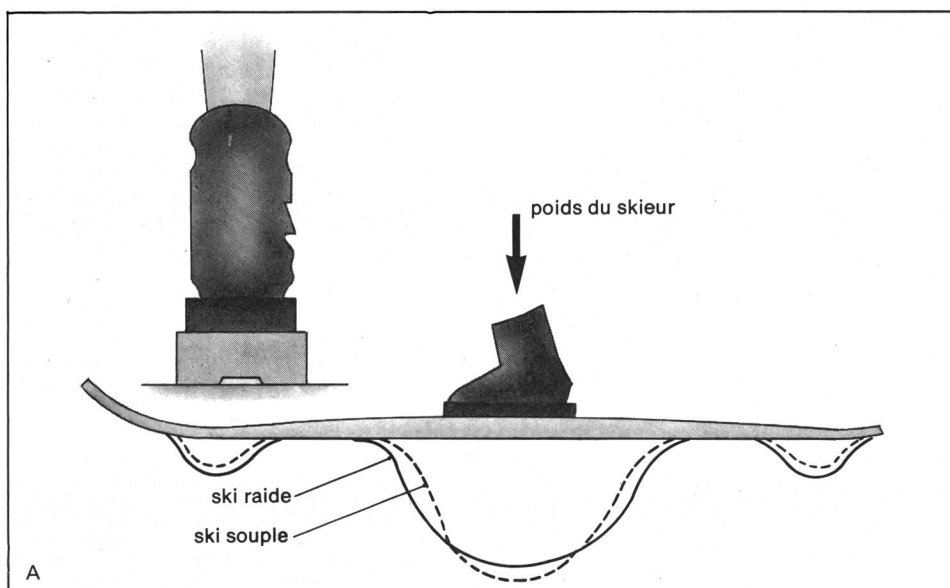


Figure 3: La pression qu'exerce le ski sur la neige n'est pas du tout la même suivant qu'il est à plat ou sur la carre. Le ski à plat et à l'arrêt sur la neige exerce une pression distribuée de façon discontinue (A). Les zones de pression à l'avant et à l'arrière du ski résultent de la mise à zéro du cambré initial. La zone de pression sous le patin du ski est déterminée par le poids du skieur et la distribution de raideur du ski. Dans le cas d'un ski souple, la pression est relativement concentrée sous le pied (courbe en pointillé). Quand le ski est en mouvement, il devient le siège de vibrations qui modifient continuellement la répartition de pression. Quand le skieur glisse en virage, le ski est en appui, en biais, sur la carre (B). La flexion alors induite par la concavité de ses côtés donne une répartition de pression plus « étalée » que dans le cas précédent. Dans le cas des skis à patin souple, la distribution de pression est davantage concentrée sous le pied du skieur. Le mordant de la carre est ainsi amélioré. Par contre, la conduite de virage est diminuée.

et portes rapprochées) (fig. 5B). L'amplitude du dérapage ne résulte pas toujours d'un choix délibéré du skieur. Sur la glace, le problème est au contraire de le limiter afin d'éviter la chute.

Dans ce cas, la technique du skieur intervient ainsi que la raideur de la tige des chaussures, qui aide à « tenir » l'angle de prise de carre. Mais la part du ski est essentielle; il ne tiendra sur la

glace que dans la mesure où, sous la poussée du skieur, la carre parviendra à mordre. Pour cela, il faut évidemment que la carre soit bien affûtée mais surtout que le ski soit assez souple au patin pour développer une pression fortement concentrée. Il doit, en outre, résister à l'effet de torsion engendré par le virage et ne pas entrer en vibrations.

Aux efforts de torsion s'ajoutent et ce, de façon permanente, des contraintes importantes de flexion. Notre souci d'accroître les performances des skis tout en assurant leur résistance, leur légèreté et leur souplesse pose de véritables problèmes de recherches.

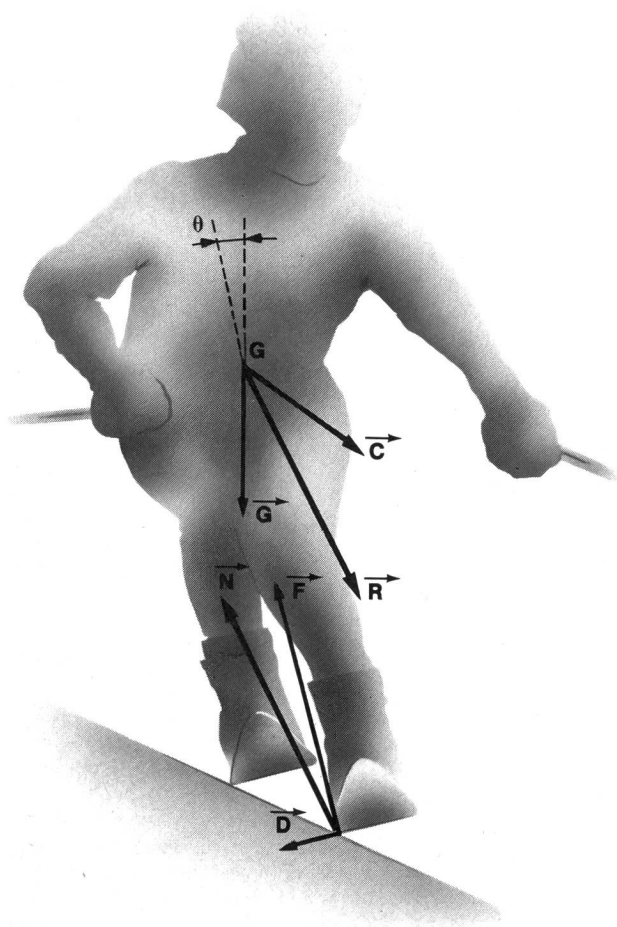
#### Un matériau pour chaque partie

Les différentes parties du ski n'étant pas soumises aux mêmes sollicitations, il est naturel qu'un ski soit aujourd'hui constitué par une dizaine de matériaux différents. Autrefois, tout était simple, il n'y avait que du bois. Ce choix n'était pas déraisonnable car, grâce à sa structure fibreuse unidirectionnelle, le bois est le matériau naturel le mieux adapté aux efforts de flexion. Cependant, sa résistance et son élasticité laissent à désirer. Les matériaux qui présentent à la fois une raideur suffisante (flexion, torsion), un poids spécifique (légèreté) assez bas et un seuil de déformation élevé (élasticité) sont en nombre réduit.

De nos jours, on utilise essentiellement les stratifiés de fibre de verre et un alliage d'aluminium (le zicral). Notons également qu'une grande fabrique française a développé un ski d'enfant et des skis de fond dont l'armature est faite de fils d'aciers. Cette solution a l'avantage d'être économique, mais ce type d'armature purement unidirectionnelle ne convient que si la raideur en torsion doit ou peut être faible.

Mais qu'il s'agisse de skis métalliques ou de skis en fibre de verre, ces matériaux ont des poids spécifiques trop élevés pour être utilisés seuls. On doit les disposer en lames minces de part et d'autre d'un noyau en matériau plus léger dont on ajuste l'épaisseur pour obtenir la raideur requise. On est ainsi conduit à réaliser une structure sandwich où l'essentiel des contraintes d'allongement et compression est supporté par les lames externes, et les efforts de cisaillement par le noyau interne. Dans certains types de construction, on prévoit des cloisons entre les lames extérieures qui renforcent ou remplacent le noyau: on parle alors de structures en caisson.

Pour limiter le poids du noyau on utilise des bois de faible densité (okoumé) ou des plastiques expansés (polyuréthane, acrylique). Du fait de leur légèreté ces matériaux sont peu résistants,



$\vec{G}$  Poids du skieur  
 $\vec{C}$  Force centrifuge  
 $\vec{N}$  Réaction de la neige  
 $\vec{F}$  Effort en flexion appliqué au ski  
 $\vec{D}$  Effort en dérapage appliqué au ski  
 $\theta$  Angle de gîte du skieur

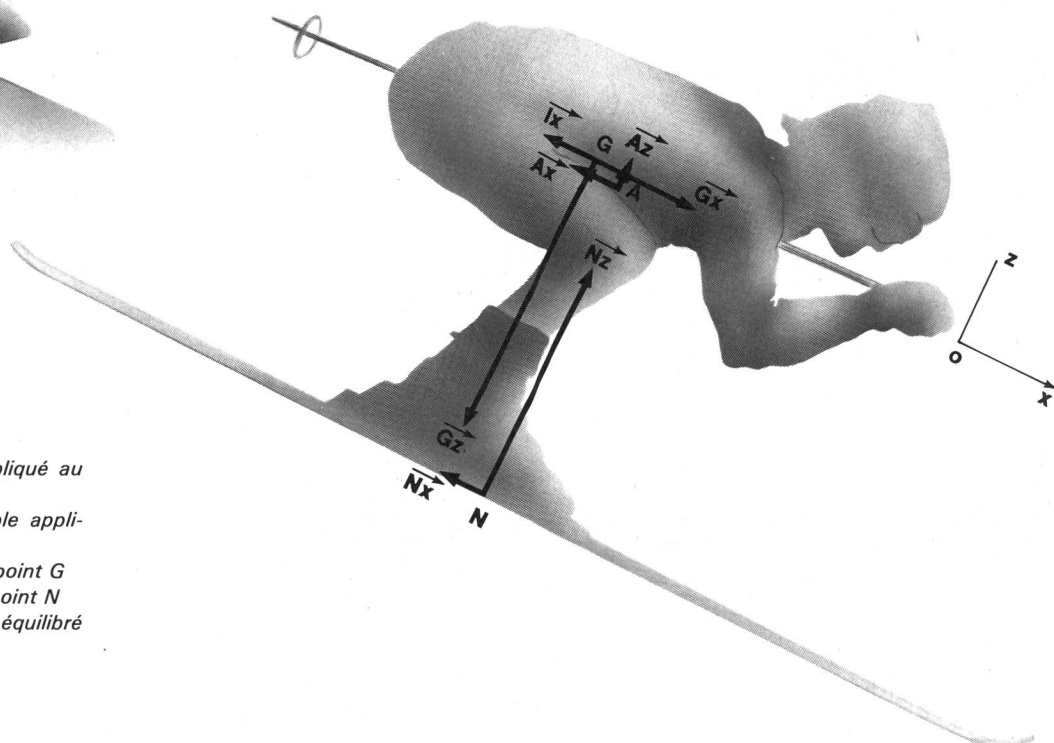
$$\vec{R} = \vec{G} + \vec{C}$$

$$\vec{N} = \vec{F} + \vec{D}$$

Figure 4: Un skieur sur ses skis est un système physique supposé indéformable. On étudie son mouvement sous l'action de plusieurs forces (A). Ces forces diffèrent selon que le skieur se trouve en position dynamique de glissement en trace directe ou de glissement en virage. Dans le premier cas, la force motrice (composante de la pesanteur parallèle à la pente  $\vec{G}_x$ ) est appliquée au centre de gravité. Les forces d'inertie appliquées en G peuvent s'ajouter (ralentissement) ou se retrancher (accélération). Les forces antagonistes résultent de la résistance de l'air ( $\vec{A}_x$ ) et du frottement du ski sur la neige ( $\vec{N}_x$ ).

Dans le cas du virage (B) on doit ajouter une force d'inertie, la force centrifuge. La réaction de la neige est dans ce cas la composante de deux forces, F et D, forces de frottements que le ski, en travers par rapport à la trajectoire, génère au niveau de la neige. Le virage est précédé d'un déclenchement qui consiste en un déplacement relatif du ski et du centre de gravité du skieur tel que la résultante du poids et des forces d'inertie s'applique obliquement sur l'arrière des skis.

Dans la mesure où l'angle de prise de carre est assez faible, l'arrière du ski «chasse» plus vite que l'avant. La composante de rotation ainsi créée est ensuite modulée par le skieur qui joue sur la position de son centre de gravité par rapport à ses pieds et sur l'angle de prise de carre.



$\vec{G}$  Poids de l'ensemble ski-skieur appliqué au point G  
 $\vec{A}$  Force aérodynamique de l'ensemble appliquée au point A  
 $\vec{I}$  Inertie de l'ensemble appliquée au point G  
 $\vec{N}$  Réaction de la neige appliquée au point N

Le moment piqueur des forces x est équilibré par le moment cabreur des forces z:

$$\vec{G}_x = \vec{N}_x + \vec{A}_x + \vec{I}_x$$

$$\vec{G}_z = \vec{N}_z + \vec{A}_z$$

mais, dans la structure sandwich, l'essentiel des efforts se reporte sur les lames externes en zicral ou en stratifié de verre.

On associe parfois des fibres de carbone ou des fibres de polyamide aromatique (Kevlar) aux fibres de verre. Malheureusement l'emploi du carbone est doublement freiné par son prix et son relatif manque d'élasticité. Dans la proportion où il peut être introduit économiquement, le gain de poids est insignifiant. Par contre, l'influence sur le comportement dynamique du ski n'est pas négligeable.

Il faut également compter, parmi les éléments porteurs de la structure, les carres en acier. A vrai dire, on se passerait volontiers d'elles, dans ce rôle, car le meilleur acier possible dans cette forme de profil a une élasticité tout juste suffisante. Il est cependant heureux que la dureté et l'élasticité aillent de pair dans ce matériau. Ainsi, il n'y a pas incompatibilité entre la fonction première de la carre, assurer une arête à angle vif, tenant l'affûtage sur la glace, et sa fonction fortuite d'élément structural.

#### Les revêtements

Au chapitre des matériaux, nous ne pouvons oublier les revêtements. Le revêtement inférieur a un double rôle de glissement et de résistance à l'abrasion de la neige et de la glace. Il doit être facilement réparable en cas de rayures, inévitables, sur les pierres. On emploie du polyéthylène à haut poids moléculaire. La face supérieure du ski est relativement peu agressée. Elle peut être rayée par les carres (croisement des skis, piétinement dans les files d'attente au téléski) ou marquée par la pointe des bâtons. Le revêtement a donc moins un rôle de protection que de substrat au décor en laque et vernis. On utilise presque toujours de l'ABS<sup>1</sup>. Par contre, les bords de la face supérieure d'un ski sont sévèrement attaqués par les carres en acier de l'autre ski. La fréquence et la violence des heurts est maximum sur la spatule, aussi doit-on, sur les skis en fibres de verre, monter un robuste élément protecteur en acier ou en alliage dur d'aluminium. Sur le reste de sa longueur, le ski est également muni de «carres supérieures» en ABS ou en zicral. Les côtés du ski subissent peu d'avatars. Leur habillage n'est nécessaire que sur les skis à noyau en bois, pour empêcher l'humidité de pénétrer. Enfin il faut un «protège-talon» en alliage d'aluminium car cette partie du ski se dégrade aussi, sous l'effet des chocs sur le sol, chocs volontaires pour faire tomber la neige ou involontaires au cours des différentes manipulations.

#### Le verdict des essais

Lorsque l'on pense avoir découvert l'association adéquate de matériaux il reste encore à les tester, en laboratoire et sur le terrain. Les essais en laboratoire reproduisent approximativement les contraintes que le ski subit au pied du skieur et concernent avant tout les propriétés de résistance des matériaux ou de leur assemblage. Mais à structure identique, les performances varient suivant la taille du ski et les sollicitations sur neige sont également différentes. On doit donc en tenir compte dans l'interprétation des résultats. Les essais les plus classiques sont ceux de déformation en flexion qui simulent grossièrement le passage à basse vitesse du ski dans un creux prononcé. Il s'agit d'essais de flexions trois points. Autrement dit, le ski repose en deux points et en un troisième point situé à mi-distance des appuis, est appliquée une charge croissante. Un essai complémentaire, la rupture en flexion, consiste à déterminer la charge qui, appliquée entre deux appuis rapprochés, va engendrer la rupture du ski. La distance est alors volontairement réduite entre les appuis afin d'éviter que le ski échappe à la contrainte en fléchissant entre les supports. Enfin, l'essai classique de fatigue qui simule les

flexions continues subies par le ski, et responsables à long terme d'une certaine dérive des performances. Bien qu'il soit certainement le plus commun et le plus ancien dans notre industrie, il n'en est pas moins très décevant. Il consiste à faire subir au ski 10 000 à 30 000 flexions, à une fréquence de deux hertz et avec une amplitude qui varie, suivant la taille du ski, de 12 à 20 cm. On mesure la perte de cambre. Elle est rapide au début de l'essai et tend à se stabiliser vers 8000 flexions. Il est légitime de penser qu'il se produit également une petite réduction de la raideur mais on ne parvient pas à la mettre en évidence. Si on rend l'essai plus sévère, par exemple en augmentant l'amplitude des flexions, on provoque des ruptures des carres en acier alors qu'on n'en constate pas à l'usage.

Pour tous ces essais, il n'existe pas d'échelle de référence absolue pour interpréter les résultats. Chaque fabricant s'est donné des points de repère en se basant sur l'expérience pratique. Ils n'ont de valeur que dans les conditions expérimentales choisies.

En pratique, les skis s'usent par la semelle (rayures sur les pierres), les carres (usure par ponçage, dans les opérations de réparation des semelles et par les réaffûtages), et les spatules



Les recherches en vue d'améliorer la conception des skis passent maintenant par l'identification précise de leur travail sur la neige. Pour cela, on les équipe de jauges de contraintes (mesure des déformations superficielles) ou d'accéléromètres (mesure des chocs) dont les signaux sont enregistrés sur bande magnétique. Sur la photo, l'essayeur porte l'enregistreur sur la poitrine et dans le dos, l'alimentation et les amplificateurs.

<sup>1</sup> ABS: copolymère d'acrylonitrile, de butadiène, et de styrène.

dont les bords finissent par être rongés par les carres de l'autre ski. Il se produit également un léger fléchissement des performances sur la glace. Il est perceptible pour les skis à noyau en bois. Pour le moment, ce phénomène échappe à la mesure.



(photo Keystone)

Les essais en laboratoire ont l'avantage d'être rapidement faits et de donner des résultats chiffrés, mais ils ne permettent pas d'évaluer tous les points faibles éventuels. On procède donc à des essais d'endurance sur le terrain, seule expérimentation déterminante. Ils consistent à prêter les skis, pendant un hiver, à des pisteurs ou à des moniteurs et à évaluer leur résistance en comparant certains paramètres mesurés avant et après l'essai: cambre, souplesse, plaquage (aptitude des deux skis d'une même paire à plaquer correctement l'un contre l'autre, semelle contre semelle: c'est un test de non-déformation à l'usage), et en examinant l'état général des arêtes supérieures, du dessus, de la spatule, etc. Il existe une deuxième sorte d'essais sur neige, beaucoup plus difficile à mener à bien car les résultats sont des sensations personnelles. On demande à des «essayeurs» d'apprécier la facilité à déclencher et à exécuter les différents types de virages (courts et longs rayons, dérapés ou coupés), la puissance de l'accrochage sur la neige dure ou la glace, la stabilité horizontale et verticale, la tenue de la trajectoire, l'aptitude à mener le

virage sans action correctrice de la part du skieur, la maniabilité en neige difficile (profonde, lourde), l'adaptation aux terrains bosselés (absorption des chocs), le confort ou la sécheresse du contact ski-neige. Certains fabricants emploient des équipes d'«essayeurs» extérieurs à leur service de recherche, d'autres préfèrent y englober des ingénieurs responsables du développement. Ce faisant, on court le risque d'avoir des appréciations partiales mais on peut le limiter en ayant recours à des procédures particulières: skis de référence, rapports séparés, expression des résultats en termes d'impressions brutes. Par contre, on a ainsi l'avantage d'être en prise directe sur les sensations. C'est important, car la multiplicité des impressions ressenties et l'extrême diversité des neiges, des reliefs des pistes et des évolutions du skieur font qu'il est impossible de tout dire dans un compte rendu d'essai. Trouver le mot juste n'est pas le moindre des problèmes. L'expérience acquise en commun a permis d'établir une terminologie maison qui surmonte cette difficulté. Dans ces conditions, les appréciations concordent généralement bien et parfois de façon excellente. Il est indispensable qu'il en soit ainsi car elles déterminent des décisions industrielles et commerciales de première importance, tel le lancement d'une nouvelle série de ski.

### Des skis pour tous les goûts

Le développement de la pratique du ski a provoqué un éclatement des skieurs en trois catégories: compétition, sport et détente. Les skieurs de la famille «compétition» sont ceux qui recherchent la vitesse et la précision. Leurs skis doivent donc être stables à grande vitesse et capables de décrire des trajectoires précises. Ceci implique qu'ils soient longs (2,03 m pour un homme de gabarit moyen) et qu'ils mordent fortement la glace. A cet effet, leur patin sera souple et étroit. Enfin ils sont censés tenir sous des efforts latéraux importants (virages en slalom) et amortir les vibrations. Dans la famille «sport» on conçoit également le ski comme une activité essentiellement sportive, mais, pour des raisons de forme physique ou de goût personnel, on se limite aux vitesses intermédiaires. Les skis sont alors moins longs (1,90 m est la taille typique). Cette courte longueur réduit la stabilité du ski, qui reste cependant parfaitement adaptée à la vitesse d'utilisation, et améliore la maniabilité, ce qui est l'effet recherché. Elle réduirait également la conduite de virage si on ne prenait garde de compenser cet effet en dotant le ski d'une ligne de côtés plus concave.

Pour les membres de la famille «détente», le ski est avant tout un loisir. Ils cherchent à skier avec un minimum de risque et d'effort. Les skis doivent être aussi maniables que possible. Ils sont donc courts: 1,80 m. C'est la raison pour laquelle ces skis ont été dénommés «compact» au moment de leur introduction sur le marché. Et les skieurs de bosses? Les fabricants s'y sont intéressés et sont en mesure de leur proposer des skis qui sont courts et étroits mais qui peuvent surtout pivoter instantanément sous le pied du skieur. Leur patin est donc relativement raide pour constituer une plate-forme s'enfonçant faiblement dans la neige et ils n'ont pas de rainure. Pour réduire au maximum les chocs contre les bosses, leurs extrémités sont très souples.

Nous savons que le comportement des skis sur neige résulte de la combinaison des effets de plusieurs paramètres: la géométrie, les caractéristiques mécaniques et les propriétés vibratoires. La modification d'un seul élément de la structure a des effets dans chacun de ces trois domaines, et il n'y a aucune raison pour qu'ils concourent à l'obtention du résultat à atteindre. Le constructeur ne peut donc prétendre faire des skis réellement diversifiés en comportement que dans la mesure où ceux-ci ont des constructions différenciées par les matériaux et par leur agencement.



(photo Keystone)



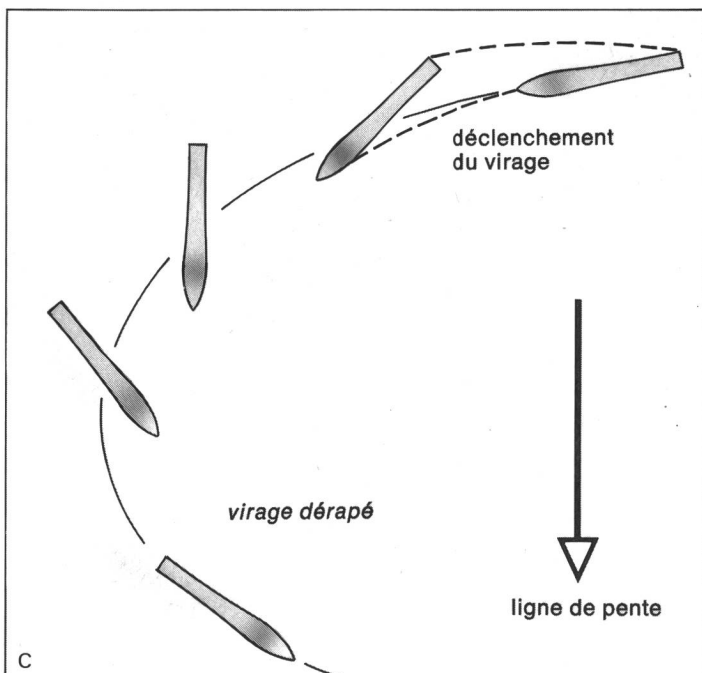
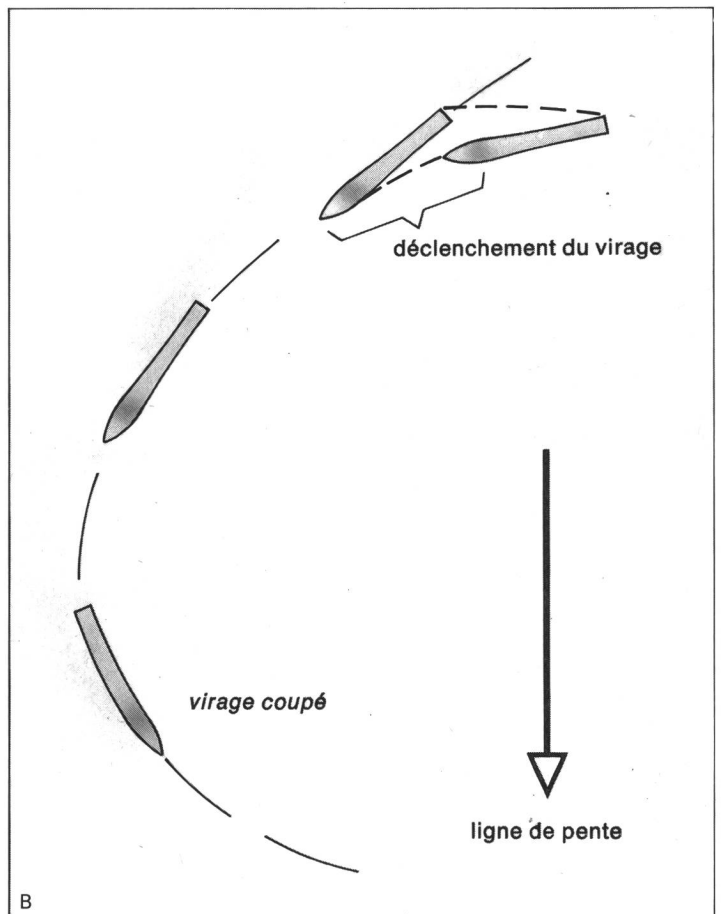
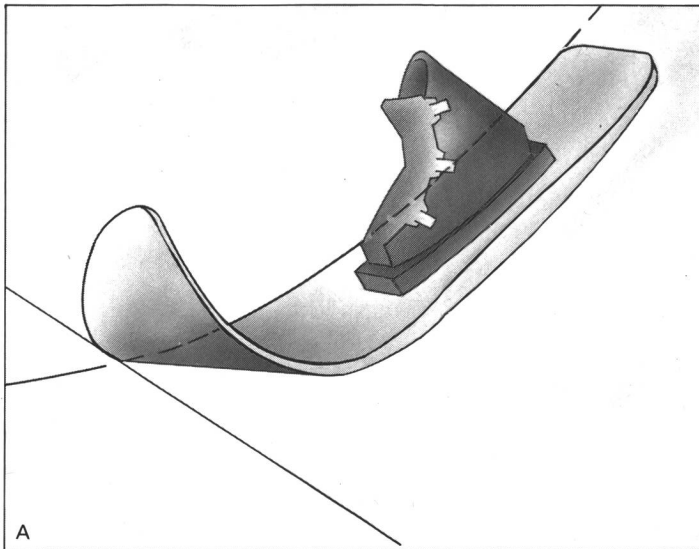


Figure 5: Vu du ski, un virage combine trois déplacements élémentaires: déplacement vers l'avant, dérapage et rotation. La composante de déplacement vers l'avant du ski en virage est légèrement curviligne, car la concavité latérale (ligne de côtes) le contraint à fléchir dès lors qu'il est en prise de carre (A). Cet effet est visible sur la photo qui présente P. Gros au cours d'un slalom géant (page 60). La courbure de la trajectoire est d'autant plus prononcée que l'angle de prise de carre est élevé.

La différence entre un virage dérapé et un virage coupé est liée à l'amplitude du dérapage. Dans un virage coupé idéal (B), le ski épouserait la courbe qu'il décrit. Le dérapage serait nul. Dans la réalité il y a une petite composante de dérapage. Elle permet de fermer davantage le virage.

Dans le virage dérapé (C), le skieur règle l'amplitude du pivotement en ajustant son attitude avant-arrière et en dosant l'angle de prise de carre. En chargeant ses talons il accélère le pivotement quand les skis sont en faible prise, il le freine si l'angle de carre est grand.

### Compétition, fédérations et industriels

La compétition de ski (Jeux olympiques, Championnats du monde, etc.) relève du sport «amateur». La relative contradiction existant entre cette situation et certains aspects financiers de cette activité ne manque pas d'intriguer nombre de personnes. Il faut savoir que toutes les questions relatives à la compétition transitent par les fédérations nationales de ski.

Pour faciliter et formaliser les rapports des industries de sport d'hiver avec la Fédération, il a été constitué un pool de fabricants. Seuls, les membres du pool sont fournisseurs de la Fédération et sont autorisés à équiper un ou plusieurs coureurs. La participation au pool des industriels fait l'objet d'un contrat qui détermine les obligations des différentes parties et le montant des cotisations annuelles à la charge des fabricants (frais de fonctionnement de la Fédération).

La Fédération fixe également, en accord avec les fournisseurs, le montant des sommes qu'ils payeront aux coureurs. Qualifiées de «manque à gagner» ces sommes sont fonction du classement international (FIS) du coureur ou de son classement dans sa Fédération. Il en est de même pour les primes de victoire. Les accords Fédération-industriels réglementent aussi, au titre de la collaboration technique, la position des techniciens de chaque firme qui doivent être individuellement accrédités auprès de la Fédération pour être autorisés à intervenir auprès des coureurs.

Ce système fonctionne de façon satisfaisante; n'étant pas géré de façon bureaucratique, il garantit les intérêts en cause et permet de sauvegarder une bonne qualité des rapports humains.

### Peut-on prévoir l'évolution future?

L'analyse du passé montre que le ski a évolué sur trois points: la technique des skieurs de pointe et, par voie de conséquence, celle de tous les skieurs, la mentalité des skieurs et le matériel.

Des champions hors série, ayant découvert d'instinct une nouvelle façon de skier, ont plus ou moins guidé les innovations. Ainsi, Jean-Claude Killy a apporté le braquage (pivotement simultané des deux pieds en trace large), Patrick Russel, l'avalement (position assise et

poussée des pieds en avant), Ingemar Stenmark, le coupé du pied extérieur.

Les méthodes d'enseignement du ski ont elles aussi joué un rôle. Avant, on apprenait à skier sur des skis longs puis, sur les traces des Américains, nous avons adopté les skis courts, ce qui a favorisé la mode des skis compacts et du *freestyle* chez les jeunes non conformistes.

Les progrès dans les skis eux-mêmes ont été marqués par l'introduction de matériaux nouveaux, la fibre de verre, le polyuréthane expansé, etc. Bien que cela apparaisse moins clairement aux yeux des utilisateurs, ils résultent en outre, et pour beaucoup, de l'affinement des caractéristiques physiques (raideur, poids) et géométriques. L'évolution des skis, en principe motivée par un besoin des utilisateurs se répercute sur la technique et les possibilités des skieurs. C'est ainsi que les skis métalliques ont fait découvrir la technique du virage coupé. En ce qui concerne le futur, il semble évident qu'il y aura encore des skieurs de génie qui inventeront de nouvelles manières de faire des virages. Il est clair également que la conception de la pratique du ski continuera d'évoluer. Certaines orientations nouvelles, comme les descentes de couloir, sont réservées aux skieurs de

bon niveau, d'autres, comme le ski d'été qui présente l'agrément de pouvoir faire, en plus, du tennis et des ballades en montagne, ont de bonnes chances de développement. Il est prévisible que les skis vont évoluer vers plus de légèreté plus de technicité, sans perdre en polyvalence, et plus de robustesse, notamment au niveau de la semelle. Les chaussures devraient devenir plus confortables et plus commodes à chauffer, les fixations plus légères et plus sûres encore. Les fabricants ne sont pas en reste pour apporter des améliorations à leurs produits. Tous, dans la mesure de leurs moyens, cherchent la percée technologique.

### Pour en savoir plus:

- G. Joubert, *Le ski, un art, une technique*, Arthaud, 1978.
- A. Duveillard et J. Toussaint, *Manuel de fartage*, Media, Sallanches, 1974.
- S. Lang, *Le ski*, Larousse.
- Capitaine Rivas, *Petit manuel du skieur*, La Montagne, Club alpin français, 1907.
- H. Hdek, *L'Ecole du ski*, S. Borneman, Paris, 1933.
- H. Evans, B. Jackman and M. Ottaway, «The Sunday Times», *We learned to ski*, Collins, 1974.
- J. Vaage, *Ski makers in last century*, Norwegian Ski Museum, Holmenkollen, Oslo.
- B. Glenne, W. Mason and R. Gardiner, *Evolution of ski design*, «Aiaa Student Journal», University of Utah, 1976.



Un très beau virage de slalom exécuté par Piero Gros.

(Photo G. Bevilacqua)