

Les farts et la glisse des skis

Pierre Lantéri et Rémi Longeray

Abstract

Ski waxes for gliding

The waxing of skis is an essential operation to obtain the best glide possible according to the environment (snow, weather conditions) and the type of required performance (alpine ski, cross-country ski...). Formulation of waxes, containing formerly petroleum products (paraffins, waxes) currently incorporates fluorinated additives to control the hydrophobia. The properties modelling of gliding is complex, it requires collaboration between chemists, tribologists, nivologists, sportsmen and... despite everything, waxing remains still an art...

Mots-clés

Fartage, glisse, paraffines, additifs fluorés.

Key-words

Ski-waxing, gliding, paraffins, fluorinated additives.



Il y a environ 4 000 ans, les peuples scandinaves ont inventé le ski comme moyen de déplacement sur neige. Confrontés aux problèmes de glisse et de collage de la neige sur le bois des skis, ils ont très vite essayé de palier ces problèmes à l'aide de substances hydrophobes qu'ils utilisaient pour le calfatage des bateaux (graisses animales, résines de conifères et goudrons de bois). Bien que l'esprit de compétition ait dû toujours exister, le ski n'est devenu un « sport » au sens

actuel du terme qu'au cours du XIX^e siècle.

La technologie initiale relativement uniforme des skis de bois a fait du fartage un facteur essentiel pour aller plus vite et pour réduire l'effort physique dans le cas des disciplines nordiques, d'où la notion de secret et de recette magique jalousement gardée par le compétiteur d'alors mais qui, malgré les progrès scientifiques et technologiques, hante toujours la tête du compétiteur. Ce n'est qu'au cours de la seconde moitié du XX^e siècle que sont apparus les skis à structures composites de plus en plus perfectionnées et les farts formulés à base de cires hydrocarbonées et de produits de synthèse.

Quel est le problème ?

Quelle que soit leur discipline, les coureurs du « grand cirque blanc », leurs entraîneurs et leurs techniciens ont à choisir le matériel qui leur paraît le plus adapté aux « conditions du jour », essentiellement la bonne paire de ski avec le bon fartage. Cette décision capitale peut permettre au skieur de réaliser la performance rêvée ou se traduire par un véritable cauchemar ! Quand les échéances sportives hivernales arrivent, surtout en cas de contre performance de l'athlète faisant l'objet de toutes les attentions, les problèmes de fartage resurgissent régulièrement dans les médias.

Même s'ils sont le résultat de formulations complexes, la plupart des produits de la vie courante (lessives, colles et adhésifs, peintures, pesticides, médicaments...) ne posent

généralement pas de problème particulier pour leur utilisation, pour autant qu'ils possèdent les propriétés d'usage attendues. Il en va tout autrement pour un fart de ski, car si la propriété d'usage espérée – *obtenir la meilleure glisse sur neige possible* – semble bien définie, cette dernière est la résultante de synergies et d'antagonismes de nombreux paramètres : caractéristiques morphologiques et mécaniques du ski, nature du matériau et topographie de surface de la semelle, caractéristiques du fart et de la neige. Si le couple ski/fart est constitué d'un ensemble de facteurs contrôlables, il n'en est pas de même du couple neige/conditions atmosphériques qui constitue un ensemble de facteurs subis.

Le but de cet article est d'essayer de répondre aux questions suivantes : comment un fart est-il formulé ? Quelle part de la performance doit-on attribuer au fart ? Le farteux est-il un « sorcier » dépositaire de « secrets jalousement gardés » ou un technicien averti sachant utiliser son expérience, identifier la neige du jour et utiliser les informations fournies par le fabricant de fart ?

Quelle approche scientifique pour la glisse ?

Ce ne peut être qu'une approche pluridisciplinaire associant physiciens (mécaniciens et tribologues) et chimistes (spécialistes des matériaux, physico-chimistes et formulateurs). Quand on aborde les problèmes posés par le glissement d'un corps sur un autre, le tribologue s'intéresse aux caractéristiques topographiques et morphologiques des surfaces

Glossaire

Fartage

Action d'enduire la surface de la semelle d'un ski d'un produit appelé fart destiné à améliorer ses propriétés de glisse et à éviter le collage de la neige quand elle est humide.

Frittage

Obtention d'un solide à partir d'une poudre sous l'action de la pression et éventuellement de la température.

Tribologie

Science étudiant les phénomènes relatifs au frottement entre les surfaces en mouvement.

frottantes et aux caractéristiques rhéologiques et/ou viscoélastiques des matériaux impliqués dans le frottement tandis que le chimiste s'intéresse aux propriétés chimiques et physico-chimiques des matériaux en contact. Partie prenante dans la conception du matériel, le chimiste intervient à deux niveaux : celui des matériaux constituant la structure de l'objet glissant et celui du ou des matériaux situés à l'interface objet/milieu naturel. Chimistes et physiciens agissent en principe sur des facteurs contrôlables, mais quand ils s'intéressent aux sports de glisse, ils sont confrontés à un milieu naturel ; les paramètres mis en jeu – air, eau liquide, glace ou neige, conditions atmosphériques – sont plutôt subis que contrôlés et il est difficile d'agir sur eux.

L'interaction de la surface de l'objet glissant avec le milieu dans lequel il se déplace fait appel à trois types de propriétés :

- propriétés de surface,
- propriétés mécaniques liées aux caractéristiques rhéologiques du matériau,
- propriétés physico-chimiques (énergie de surface et mouillage du matériau par le fluide avec lequel il est en contact).

Comment un ski glisse-t-il ?

Bowden et Hughes ont postulé la présence d'un film d'eau entre le ski et la neige ou la glace : à l'échelle des aspérités du cristal de neige et de celles de la surface de la semelle de ski, la surface de contact réelle ski/neige ne représente que quelques pour cent de la surface de la semelle. Comme toute l'énergie dissipée par le frottement l'est en ces points, il y apparaît toujours un film d'eau liquide ; pour assurer une bonne glisse, il est nécessaire d'obtenir une lubrification fractionnée qui conduit à un frottement ski/neige intermédiaire entre le frottement visqueux et le frottement sec. La formation de ce film d'eau et l'importance relative de ces deux types de frottement dépendent du type de neige, de sa température et de son hygrométrie, de la topographie de la surface de la semelle et de la nature et de la qualité du fartage.

Quelques partenaires de la glisse

La semelle

Depuis le bois originel, un grand nombre de matériaux ont été testés pour arriver à ne retenir que le polyéthylène. Pour la compétition et les skis haut de gamme, il s'agit de polyéthylène d'ultra haut poids moléculaire mis en forme par frittage et tranchage.

La topographie de surface de la semelle

Une semelle idéalement lisse ne glisse pas. Elle doit posséder une certaine « rugosité » pour créer les forces de frottement nécessaires à la formation du film d'eau. La rugosité « idéale », orientée dans le sens longitudinal, est fonction du type de neige : de fine pour les neiges fraîches et poudreuses, elle devient importante pour les neiges très mouillées où elle doit évacuer l'eau pour éviter la succion capillaire.

La neige

C'est un matériau éminemment transformable qui est en perpétuelle évolution, depuis les neiges fraîches caractérisées par des cristaux relativement fins avec des arêtes acérées jusqu'aux vieilles neiges aux cristaux érodés plus ou moins arrondis (quelques métamorphoses d'un cristal sont illustrées *figure 1*). La rapidité et l'importance de cette évolution sont fonction des différents paramètres météorologiques parmi lesquels la température, l'hygrométrie de l'air et le rayonnement solaire sont des facteurs très importants. Enfin, quand la température de l'air dépasse 0 °C, la neige devient plus ou moins humide. Si les nivologues ont modélisé avec succès l'évolution d'un manteau neigeux dans son ensemble pour l'évaluation du risque d'avalanche, il n'en est pas de même pour la couche de surface de quelques centimètres qui est concernée par la glisse d'un ski. Or toute optimisation véritable de la glisse d'un ski, *via* le couple fartage/topographie de surface de la semelle, ne pourra être réalisée que quand on aura les moyens de « modéliser » réellement la neige vue par le ski, c'est-à-dire d'en avoir identifié et quantifié les descripteurs pertinents.

De plus, les compétitions actuelles se font sur des pistes spécialement préparées, compactées, gelées, dont les caractéristiques n'ont presque plus de rapport avec les conditions naturelles.

La discipline sportive

Si, quelle que soit la discipline envisagée, le rôle du fart est de favoriser au maximum le déplacement du ski sur la neige, les propriétés d'usage que l'on en attend, donc le mode de fonctionnement du fart, dépendent étroitement de la dite discipline : ski alpin ou ski nordique, plus précisément descente ou fond. Indépendamment du matériel et du « geste » technique, même en terme de glisse pure, les deux disciplines se différencient par les vitesses moyennes atteintes. On observe des vitesses élevées en ski alpin : de 30 à 40 m.s⁻¹ en descente, 70 m.s⁻¹ pour le record actuel du kilomètre lancé. Elles sont nettement plus faibles en ski de fond : 5 à 10 m.s⁻¹. En ski de fond, outre la distance à parcourir, les épreuves sont réparties en deux spécialités : le



Figure 1 - Le cristal de neige et ses métamorphoses progressives.

style classique qui regroupe les techniques du pas alternatif et ses variantes, le style libre qui regroupe les techniques du pas de patineur et ses variantes. Les propriétés d'usage du fartage sont très différentes entre ces deux styles : le style libre requiert uniquement des propriétés de glisse, alors que le style classique exige en outre des propriétés de retenue.

Le fart

Les produits utilisés dans les farts actuels sont le fruit d'une longue recherche empirique : il est vraisemblable que sur le bois des premiers skis toute substance hydrophobe et collante d'origine naturelle a dû être essayée, seule ou en mélange, particulièrement les différents types de goudrons, de cires, de résines et de corps gras. La structure fibreuse du bois et la large gamme de fonctions chimiques de la cellulose et de la lignine constituant ces fibres autorisaient de toute façon une adhésivité convenable d'un large éventail de composés. L'apparition de matériaux de synthèse pour la semelle a modifié profondément les données du problème : le polyéthylène s'est imposé aussi bien pour le ski alpin que pour le ski de fond. Le polyéthylène sur lequel peu de matériaux adhèrent vraiment a compliqué les formulations, il a nécessité d'utiliser des substances compatibles avec l'ajout éventuel « d'adhésifs » appropriés.

La charte de fartage

C'est la firme SWIX qui imagina la première un système de couleurs codées pour établir la correspondance entre type de fart, type de neige et température de la neige (la « chaleur » de la couleur est corrélée avec la température de la neige) : vert pour les neiges très froides, bleu pour les neiges hivernales froides classiques et rouge pour les neiges humides par temps « chaud ». Progressivement, tous les fabricants adoptèrent ce code en y incluant les couleurs intermédiaires en fonction de la diversification des formulations proposées. Un exemple d'une charte d'utilisation d'une gamme de fart actuelle est reporté figure 2 (cette gamme est constituée de trois « sous gammes » CH, LF et HF selon qu'il s'agit de formulations de base uniquement constituées de cires hydrocarbonées, ou de ces mêmes bases à plus ou moins forte teneur en additif fluoré).

Le fartage alpin

A haute vitesse, les mécanismes de frottement entre le ski et la neige sont particulièrement complexes, allant du

frottement quasi solide sur neige poudreuse ultra froide à -20 °C au frottement visqueux sur neige de printemps mouillée, mécanismes difficilement identifiables en situation réelle. En relation avec la topographie de surface de la semelle, le fart agit vraisemblablement comme un agent de lubrification, à l'échelle moléculaire, via ses propriétés rhéologiques et physico-chimiques.

Les farts

Pour présenter le meilleur compromis possible entre propriétés lubrifiantes, hydrophobie et adhésivité sur le polyéthylène, les farts alpins actuels sont constitués d'au moins 85 % d'un mélange de paraffines et de cires microcristallines d'origine pétrochimique (le polyéthylène étant de structure exclusivement paraffinique, on retrouve la règle empirique du chimiste : pour que deux substances soient compatibles, en particulier pour qu'elles adhèrent entre elles, il faut qu'elles soient de même nature chimique ou tout au moins qu'elles aient en commun un certain nombre de fonctions compatibles). Les propriétés d'usage de ces coupes industrielles sont fonction du nombre d'atomes de carbone (taille de la molécule) et des arrangements dans l'espace de ces atomes : linéaires, ramifiés, cycliques (avec une majorité d'alcane linéaires pour les paraffines, un pourcentage supérieur de chaînes ramifiées pour les cires microcristallines).

A l'intérieur de chaque famille, on trouve des propriétés physiques variant considérablement d'un produit commercial à l'autre selon l'origine du pétrole brut, le degré de raffinage du pétrole et la technique de séparation des cires et paraffines. En résumé, on trouve comme composants de base des farts alpins actuels :

- éventuellement des vaselines : mélange colloïdal complexe d'hydrocarbures ayant de 15 à 25 atomes de carbone, dont le point de fusion est compris entre 38 °C et 52 °C. Leur rôle est de diminuer la dureté du fart et/ou de le plastifier (pour des neiges humides non abrasives) ;
- des paraffines : hydrocarbures saturés essentiellement linéaires (C₂₀ à C₃₅-C₄₀) ; ce sont les constituants majeurs (au moins 50 % du total), leur dureté est fonction de la distribution molaire de la coupe utilisée. On leur attribue les meilleures propriétés de glisse ;
- des cires microcristallines : hydrocarbures plus ou moins ramifiés (C₂₅-C₃₀ à plus de C₆₀), qui confèrent une certaine plasticité aux mélanges tout en accroissant l'adhésivité au polyéthylène et la dureté du fart, caractéristiques nécessaires à la friction sur neiges froides, par exemple en terme de résistance à l'abrasion ;
- à ces produits de base peuvent être additionnées des cires synthétiques (polyéthylènes, polypropylènes...) permettant d'ajuster les caractéristiques rhéologiques du fart.

C'est en mélangeant plusieurs paraffines et cires que le fabricant de farts règle la dureté du fart en fonction de celle de la neige tout en conservant au maximum les propriétés de glisse. La gamme des formulations proposées pour aller des neiges les plus froides (farts les plus durs) aux neiges les plus humides (farts les plus « mous ») matérialise ce gradient de dureté et de point de fusion (cf. la charte d'utilisation reportée figure 3). De tels gradients de mélanges de coupes pétrochimiques sont illustrés par les chromatogrammes d'un fart vert et d'un fart violet d'une gamme de l'hiver 2000-2001 reportés figure 3.

Neige naturelle ou artificielle fraîche, fine, poudreuse	Température de la neige (°C)											Temp. de l'air		
	-16	-14	-12	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6		
Hygrométrie de l'air > 60 %	HF	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	LF	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Hygrométrie de l'air < 60 %	HF													
	LF	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	CH	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Entraînement	CH	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

Figure 2 - Exemple de charte de fartage basée sur un code couleur.

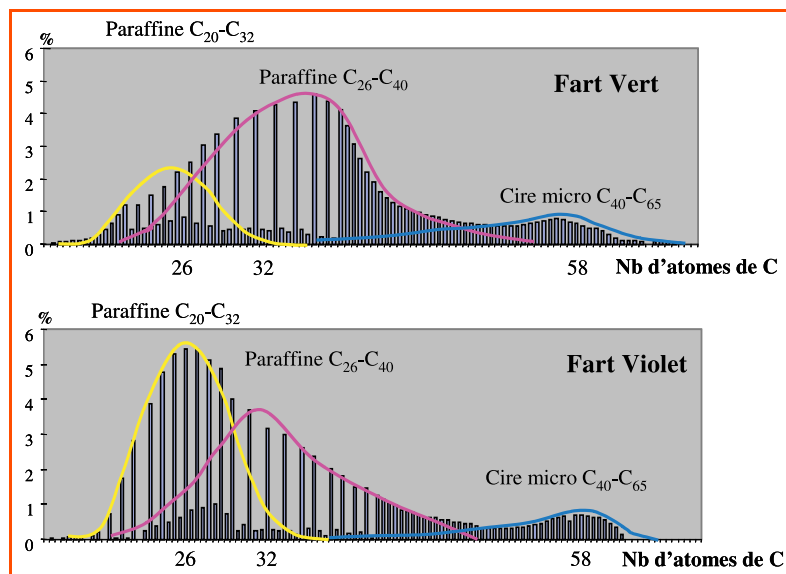


Figure 3 - **Fart vert** pour neige très froide et **fart violet** pour neige modérément froide.

La technique traditionnelle de fartage

La semelle est enduite par le fart en fusion à l'aide d'un fer à farter à chauffage électrique ; après refroidissement, l'excès de fart est soigneusement éliminé par raclage, puis par brosse, en évitant au maximum d'endommager la structure de la surface de la semelle optimisée par le fabricant du ski. Un fartage parfait devrait conduire à un film de fart ultrafin épousant et respectant parfaitement la topographie initiale de surface de la semelle.

Les additifs de glisse

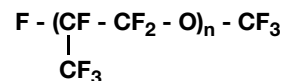
Depuis des décennies, les formulateurs de farts ont testé toutes sortes d'adjuvants de lubrification destinés soit à augmenter l'hydrophobie de la base paraffinique pour les neiges humides, soit à améliorer la lubrification sèche pour les neiges très froides et/ou très abrasives. Pour accroître l'hydrophobie, la « sélection naturelle » a conduit à retenir essentiellement des composés fluorés (perfluorocarbones et alkyl-perfluorocarbones), la lubrification sèche faisant appel aux lubrifiants solides lamellaires classiques (graphite et bisulfure de molybdène, éventuellement un fluorographe). Sans entrer dans le détail de la chimie industrielle des composés fluorés, disons que les perfluorocarbones sont dérivés d'oligomères très courts (schématiquement de C_4 à C_{10}) du tétrafluoroéthylène (sous la forme d'halogéno-perfluorocarbones) qui, par duplication du type réaction de Wurtz, conduisent à C_nF_{2n+2} avec n variant de 8 à 20. Du fait de leur origine, même après fractionnement, on n'a jamais une molécule définie, mais une distribution plus ou moins étroite autour d'une longueur moyenne de chaîne. De même, les alkyl-perfluorocarbones sont obtenus par réaction radicalaire entre une α -oléfine (elle-même obtenue par oligomérisation de l'éthylène) et ces mêmes halogéno-perfluorocarbones pour conduire à une molécule de type $C_nH_{2n+2}-C_mF_{2m+2}$, n et m présentant tous deux une certaine distribution.

C'est en 1988 que la firme italienne SOLDA commercialise le premier fart à additif fluoré tandis que pratiquement

simultanément, la firme SWIX avec la Cera-F adapte la technologie des perfluorocarbones (développés pour les peintures des coques de bateaux) pour les farts de ski. La firme TOKO axe sa publicité sur les composés bi-blocks, nom qu'elle a donné aux alkyl-perfluorocarbones.

A part les alkyl-perfluorocarbones qui, grâce à leur structure amphiphile, sont solubles dans la base paraffinique jusqu'à une certaine concentration (< 15 %), l'incompatibilité des produits perfluorés avec les hydrocarbures paraffiniques pose des problèmes de formulation insolubles, d'où de gros problèmes de mise en œuvre reportés sur le farteur. Par exemple, l'additif fluoré commercialisé séparément de la base doit être saupoudré sur la semelle de ski pré-fartée avec le fart adéquat, puis incorporé par fusion *in situ* à l'aide d'un fer chaud (jusqu'à C_{20} , le point de fusion d'un perfluorocarbène reste encore inférieur à celui de la semelle du ski).

Pour finir le panorama des dérivés fluorés, la firme nord-américaine ZARDOZ revendique un fartage universel sans cire constitué d'un produit unique en commercialisant depuis 1996 un perfluoropolyalkoxyéther liquide fabriqué par DuPont (KRITOX R 901[®]) ; il s'agit d'un polyoxyde de perfluoropropène :



La viscosité et la tension de surface de ce polymère sont si faibles qu'il imprègne par capillarité la porosité des semelles de polyéthylène fritté. La compétition entre le frottement sur neige et les forces capillaires provoque, à la surface de la semelle, la formation d'un film extrêmement fin de polymère assurant la lubrification.

Le fartage en ski de fond

Bien que l'importance pratique du fartage traditionnel, qui doit paradoxalement assurer l'ancrage du ski sur la neige pendant la phase d'impulsion et favoriser au maximum la phase de glisse, ait considérablement diminué, pour le chimiste, l'étude de ce fartage illustre de manière exemplaire les problèmes à résoudre. C'est dans le cas de la technique traditionnelle que le fartage est le plus complexe : disons très grossièrement que les tiers avant et arrière du ski sont farts à la glisse avec des farts de type « skating » et que la partie centrale sous le cambre reçoit un fart spécial destiné à assurer la retenue du skieur en phase d'impulsion (ou de montée) et ceci, sans nuire à la glisse générale du ski. Outre le paradoxe retenue/glisse, le fart de ski de fond doit posséder des propriétés souvent contradictoires pour lesquelles on doit rechercher le meilleur compromis possible : présenter un bon glissement ; ne pas adhérer à la neige mais adhérer le plus fortement possible à la semelle du ski ; pouvoir se déformer à basse température pour tolérer les contraintes mécaniques s'exerçant sur le ski (flexion, torsion, compression, étirement, etc.) ; avoir une dureté adaptée à celle des cristaux de neige pour permettre une retenue optimale sans compromettre le glissement ; résister à l'abrasion pour rester efficace sur de longues distances ; présenter la meilleure facilité d'emploi possible lors des opérations de fartage et de départage. On conçoit aisément la difficulté des problèmes de formulation pour répondre à ce cahier des charges !

Mécanisme de fonctionnement

Nous pouvons modéliser ainsi le fonctionnement du fart de fond traditionnel : à 0 °C et au-dessous, il constitue un film d'un matériau viscoélastique d'une certaine épaisseur, dont les caractéristiques d'élasticité et d'amortissement en fonction des vitesses de sollicitation lui confèrent ses propriétés techniques. L'appui correspond à une faible fréquence de sollicitation ; il est réalisé par une certaine pénétration des cristaux de neige dans la couche de fart, cette pénétration est contrôlée par des facteurs « visqueux », puis ces cristaux doivent se dégager instantanément au début de la phase de glissement qui correspond à une haute fréquence de sollicitation, le phénomène étant alors contrôlé par des facteurs « d'élasticité ». Ce dégagement et la participation du fart à la lubrification de la phase de glissement sont contrôlés par des facteurs physico-chimiques.

Les deux familles de farts de fond en style classique

Les propriétés du fart devant être étroitement adaptées aux caractéristiques de la neige, il en a résulté deux familles : les « poussettes » (cylindres creux) relativement dures pour les neiges fraîches et les « klusters », farts visqueux et collants à température ambiante, nécessairement conditionnés en tubes, pour les neiges transformées après gel/dégel. Pour chaque famille de fart, la dureté est croissante depuis la formulation correspondant aux neiges les plus humides jusqu'à celle correspondant aux neiges sèches et très froides.

Compte tenu que ces deux familles représentent plusieurs dizaines de types de fart pour un fabricant donné (actuellement une trentaine chez l'un des leaders mondiaux de domaine ; nous en avons dénombré 46 pour la gamme de la saison 2002-2003 d'un fabricant italien !) et que des farts de même spécification de fabricants différents n'ont qu'approximativement les mêmes caractéristiques, l'ensemble des gammes des principaux fabricants mondiaux de farts de ski de fond dépasse largement la centaine de formulations. Pour un skieur de compétition recherchant le fartage le plus efficace possible, le meilleur choix est un casse-tête insoluble. On imagine également le problème posé au chimiste désireux de se faire une opinion sur la nature des formulations utilisées. Dans le cas des gammes commerciales les plus représentatives que nous avons eu l'occasion d'étudier à l'époque glorieuse du style traditionnel, nous avons pu constater que :

- pour les **poussettes** : la matrice est constituée de cires de pétrole plastifiées par du polyisobutylène (qui joue également le rôle d'adhésif hydrophobe puissant). A ces produits de base, des produits résiniques du même type que ceux utilisés pour les klusters peuvent être ajoutés pour ajuster les caractéristiques rhéologiques (quelques formulations types de poussettes sont rassemblées dans le *tableau I*).

- pour les **klusters** : le produit de base est, pour la majorité des fabricants, un dérivé résinique (ou un mélange) : colophane (mélange naturel variable d'acides résiniques), acides résiniques, résinate de méthyle, alcool hydrorésinique (nous avons rencontré seulement quelques exemples de matrices macromoléculaires de polycondensation). Les caractéristiques rhéologiques peuvent être ajustées par des

Tableau I - Exemples de formulations de poussettes et de klusters. A, B, C et D représentent les noms des marques ou des firmes qui fabriquent les farts.

Poussettes	Bleu				Violet				Rouge			
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Composants (%) \ firmes												
Cires de pétrole	81	70	65	84	74	64,5	67	69,5	62	47,5	49,5	67,5
Polyisobutène	19	23,5	22	4,5	18,5	13,5	18	7,5		14	16,5	7
Huile paraffinique												
Huile de résine hydrogénée												
Acides résiniques (colophane)		6,5		3,5	1,5	6		11	12	5,5	29	14,5
Alcools hydrorésiniques						12,5	12			28		
Résinates de méthyle			5,5		6	3,5	3		26,5	5		
Trirésinate de glycérol												
Huile de ricin			7,5									
Huile de spermacéti				8				12				11
Klusters	Bleu				Violet				Rouge			
Composants (%) \ firmes	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
Cires de pétrole												
Polyisobutène				21	2	5	2				26,5	
Huile paraffinique				21				18				21
Huile de résine hydrogénée	18,5	21	15,5		25	11	3,5		26	5		
Acides résiniques (colophane)	20,5	47,5		47,5	9,5	35,5		43	17,5	28		41
Alcools hydrorésiniques			55				65		49,5	67	64	
Résinates de méthyle	61	31,5	8,5		63,5	48,5	15		7		9,5	
Trirésinate de glycérol			31,5					39				38
Huile de ricin							14,5					
Huile de spermacéti												

huiles (hydrocarbures ou corps gras). D'une façon générale, nous pouvons considérer qu'un klistier est constitué d'un mélange d'adhésif, de lubrifiant et de plastifiant (quelques formulations types de klistiers sont rassemblées dans le *tableau I*).

Fartage et pas ou demi-pas de patineur (style libre, skating)

En style libre, la fonction antirecul est assurée par le geste technique (associé à la force musculaire du skieur), le fartage assure uniquement la fonction de glisse qui doit être maximale. En style libre, les farts de fond actuels correspondent à des farts de descente à peine modifiés (présence éventuelle d'un additif de résistance à l'usure pour les grandes distances, par exemple quelques pour cent d'un polyisobutène de haute masse molaire).

Additifs

Que ce soit pour les farts de skating, les poussettes ou les klistiers, on trouve actuellement la même prolifération d'additifs fluorés que pour les farts alpins, ce qui explique l'inflation du nombre de formulations proposées. Si les produits que nous venons de décrire représentaient les constituants principaux de la majorité des produits du marché à un moment donné, l'étude d'autres farts commercialisés a révélé l'utilisation de polymères tels que : cires de polyéthylène, éthers polyvinyliques, polyesters en particulier du type glycérophthaliques, acides résiniques dimérisés, esters résiniques de polyols, phtalates de dialkyles etc.

Aspects économiques

Si l'on trouve des brevets revendiquant des formulations agissant comme fart, très peu d'entre elles apparaissent réalistes ; les formulations de farts relèvent du savoir-faire des manufacturiers, domaine par excellence où l'on ne brevète pas ! L'aspect confidentiel du fartage s'étend à tous les domaines, y compris économique. Il est quasiment impossible de trouver des données statistiques de production. On compte une demi-douzaine de fabricants de diffusion mondiale plus un certain nombre de fabricants de rayonnement régional. En ski alpin, en dehors de la compétition, assez peu de gens fartent leurs skis. La principale consommation correspond probablement aux farts d'entretien des semelles pratiqués par les professionnels du ski dans les stations. En ski de fond, dès qu'il s'agit d'un pratiquant éclairé, le fartage est quasiment obligatoire, que ce soit à la glisse pour le skating ou le fartage traditionnel pour le style classique, avec un marché relativement important dans les pays scandinaves et en Amérique du Nord.

Tous types de farts confondus, la production mondiale ne représente qu'un faible tonnage. Il en résulte que ce marché, même s'il se caractérise par une haute valeur ajoutée, ne peut pas justifier économiquement la création et le développement de molécules dédiées spécifiquement au fartage des skis. Les fabricants doivent utiliser des produits industriels disponibles développés pour d'autres finalités : les additifs fluorés que nous avons évoqués appartiennent pour la plupart aux spécialités des

apprêts textiles ou des peintures. Dans le domaine des cires et paraffines pétrochimiques, les besoins des fabricants de fart sont quasiment négligeables devant ceux d'industries comme les bougies, les protections et lustrages de surfaces ou le conditionnement des produits agroalimentaires.

Les problèmes récurrents du fartage : la quadrature du cercle

Les propriétés d'usage des farts sont étroitement liées aux propriétés physiques et physico-chimiques des composants : masse molaire moyenne, distribution des longueurs de chaînes, teneur en molécules ramifiées et cycliques, viscosité, point de goutte, pénétrabilité, caractéristiques visco-élastiques, mouillage statique et dynamique, énergie de surface etc... D'où les conséquences :

- pour le fabricant de fart : les caractéristiques des produits pétroliers industriels dépendent des procédés de raffinage et de la nature des pétroles bruts traités, cette dernière dépendant des sources d'approvisionnement. Pour un même « grade » (généralement défini par un point de fusion, une dureté et une couleur), c'est-à-dire pour une référence donnée, le raffineur peut livrer des produits variables du point de vue nature et distribution des molécules ; le fabricant de farts doit alors corriger ses formulations pour conserver du mieux possible les spécifications de ses produits ;
- pour l'utilisateur : l'absence de continuité réelle des caractéristiques chimiques vraies des farts qui lui sont proposés interdit toute corrélation sérieuse, stable dans le temps, entre les farts qu'il utilise et les caractéristiques de la neige.

La maîtrise et l'optimisation de la glisse d'un ski nécessitent l'établissement des corrélations entre composition chimique et propriétés physico-chimiques, entre propriétés physico-chimiques et comportement sur neige *via* ses descripteurs pertinents, le tout en interaction avec les descripteurs de la topographie de la semelle, sans oublier la technique d'application du fart qui est loin d'être neutre. Cette complexité nécessite la mise en œuvre des outils modernes de la planification expérimentale et de l'analyse de données multivariées comme assistance à la formulation et à l'optimisation des produits.

Un fart de ski est l'un des rares exemples de produit industriel où il est presque impossible d'avoir une mesure objective de ses propriétés d'usage dans la mesure où il est très délicat d'isoler son influence par rapport aux autres facteurs de la performance mesurable sur le terrain. On conçoit de ce fait la difficulté de la tâche des fabricants qui doivent développer des formulations complexes avec en amont, une partie des matières premières non maîtrisables et en aval, des outils de mesure dépendant d'un matériau (la neige) aux propriétés éminemment variables. Si on analyse l'évolution des formulations industrielles de farts aux cours des dernières années, on constate que la formulation d'un produit nouveau est souvent le fruit des mesures accumulées les saisons précédentes sur le terrain. Il en résulte une situation paradoxale où le fabricant d'un produit reporte l'obtention du résultat sur l'utilisateur : il lui fournit un maximum de formulations aux préconisations d'usage plus ou moins objectives en lui laissant la responsabilité du choix et de la performance ou de la contre-performance obtenue. Le mythe du fartage pourrait encore avoir de beaux jours devant lui.

Note

Une partie des informations reportées ici est issue des travaux du Laboratoire de chimimétrie/UMR 5180 des Sciences Analytiques de l'Université Claude Bernard Lyon 1 et École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lyon où travaillent les auteurs, en collaboration étroite avec le Laboratoire de tribologie et de dynamique des systèmes/UMR 5513 de l'École Centrale de Lyon (Thomas Mathia et Alain Midol) et le Centre de Recherche Interdisciplinaire sur le Sport (Isabelle Rogowski).

Quelques références bibliographiques

- Bowden H., The mechanisms of sliding on ice and snow, *Proc. Roy. Soc. A*, **1939**, 172.
- Perillon J.-L., Lantéri P., Longera R., Dreux J., Mathieu D., Feneuille D., Phan Tan Luu R., Use of an optimal design for the optimization of rheological properties of mixtures of lauryl acrylate-stearyl methacrylate copolymers and a resinic ester, *Angew. Makromol. Chemie*, **1985**, 135, p. 99.
- Lantéri P., Longera R., Mathia T., Midol A., Quelques aspects de l'innovation technologique dans les sports de glisse, *Technologie et didactique des Activités Physiques et Sportives*, Éditions AFRAPS, **1993**, p. 193.
- Tanase M., Le fartage de A à Z, *Montagne Magazine*, **1994**, 175, p. 62.

- Len Johnson, *Ski Tuning Tips, Description of waxes and additives*, **2000**. http://www.jenex.com/tuning/star_tuning.html
- Charonnat N., *Fluorinated waxes in Marketing SIERRA NORDIC*, **2001**. http://www.sierranordic.com/tech_tip_four.html
- Thatche S., *Cross Country Ski Waxing*, **2001**. <http://www.rideandglide.bizland.com>



P. Lantéri

Pierre Lantéri (*auteur correspondant*) est professeur des Universités et directeur de l'UMR 5180* des Sciences analytiques à l'Université Claude Bernard*.

Rémi Longera est professeur émérite de l'Université Claude Bernard.



R. Longera

* UMR CNRS 5180, Université Claude Bernard Lyon 1, École Supérieure de Chimie Physique Électronique de Lyon, Domaine scientifique de la Doua, Bât. 308, 43 bd du 11 Novembre 1918, 69100 Villeurbanne. Tél. : 04 72 44 85 61. Fax : 04 72 44 83 19. Courriel : lanteri@soalan.univ-lyon1.fr



Photographies issues des sites www.ski-de-fond.net et www.ski-alpin.org.