



# LES SKIS, UN ÉQUIPEMENT DE HAUTE TECHNOLOGIE

Les magnifiques images des Jeux Olympiques d'hiver de Sochi 2014 montrent les performances que doivent réaliser les skis de saut et de course :

– la résistance à des courbures et à des chocs extraordinaires (*Figures 1 et 2*) ;



Figure 1

© d.r.



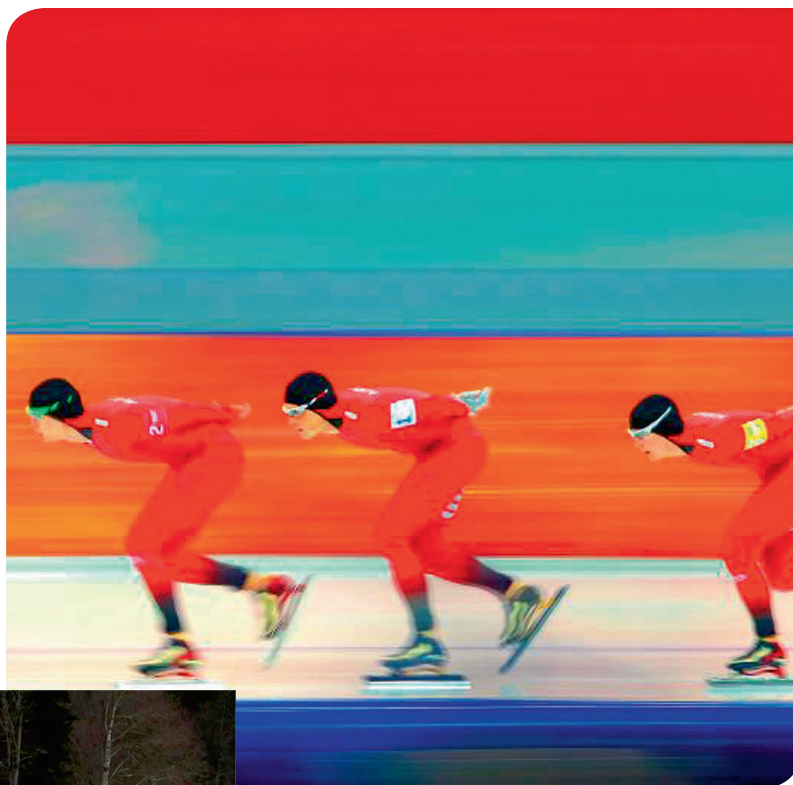
Figure 2

© d.r.



– la glisse sur neige ou sur glace (*Figures 3 et 4*).

Figure 3



© d.r.



© d.r.

Figure 4

Pour réussir de telles performances, tout est au plus haut niveau : l'athlète et le matériel.

Les champions travaillent avec les fabricants de skis pour mettre au point le matériel le mieux adapté à l'exploit qu'ils veulent réaliser. Ces skis sont des objets de haute technologie qui contiennent plus d'une dizaine de composants élaborés par des ingénieurs et techniciens et notamment des chimistes.



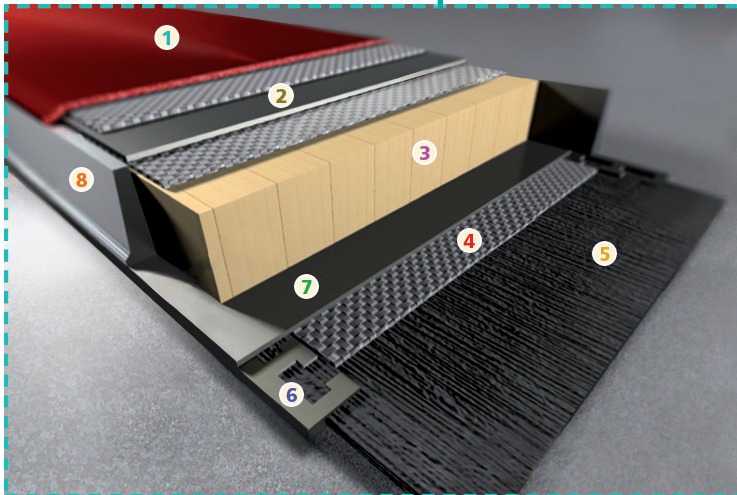
# Les supermatériaux des skis

Les principaux composants (Figure 5) d'un ski sont : les semelles, les carres, les renforts et les zones de transmission.

Les matériaux utilisés dans chacun de ces composants jouent un rôle important dans les performances des skieurs.



Figure 5



- |                                |  |
|--------------------------------|--|
| 1 Dessus : ABS, TPU, polyamide | 5 Semelle : Polyéthylène haute densité |
| 2 Renfort : Aluminium          | 6 Carre : Acier                        |
| 3 Noyau : Bois lamellé-collé   | 7 Renfort : Aluminium                  |
| 4 Renfort : Verre/époxy        | 8 Chant : ABS                          |



### Remarque

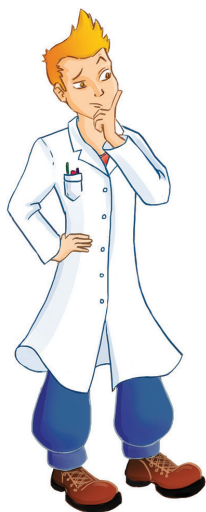
Par ajouts d'additifs, on crée des ponts entre les chaînes et on augmente la rigidité. Plus il y a de ponts, plus le polymère est rigide.



**Le Ski est une planche hétérogène, un matériau composite à lui tout seul. Comment faire pour que les skis plient et tombent de haut, sans casser ?**

Les semelles doivent être souples, élastiques, résistantes à l'eau et au froid : le polyéthylène qui est aussi utilisé pour fabriquer le gazon synthétique des terrains de football convient bien, à condition d'améliorer ses propriétés par des additifs.

Figure 6



### Skis souples



### Skis résistants



Pour plier et ne pas casser !



### Remarque

Dans les skis de compétition, on ajoute un noyau en bois (lamellé-collé) constitué de couches successives où les fibres du bois sont orientées pour bien transmettre les forces dans les appuis.

Au-dessus de la semelle, on trouve successivement :

- une couche de « composite », mélange de fibre de verre et de résine époxy pour résister aux grandes déformations mécaniques que doit subir le ski ;



– des renforts pour amortir les vibrations (*Figure 7*) ;



 Ces renforts en alliage d'aluminium peuvent être remplacés par des composites, des fibres de carbone en transversal qui permettent une grande réactivité et une meilleure négociation des virages. (*Figure 7*).

Figure 7

– la couche supérieure de décoration joue un rôle de protection (coups, rayures, rayons du soleil). Elle est souvent constituée de deux ou trois couches de molécules polymères : un polymère appelé ABS (acrylonitrile, butadiène, styrène) qui résulte de l'accrochage de toutes ces molécules entre elles, une couche de polyuréthane et une couche de polyamide ;

– les parois verticales sont les zones de transmission appelées « chant » et sont en ABS.

Toutes ces parties sont collées avec une résine époxy de la famille connue dans le commerce sous le nom d'Araldite (*Figure 8*) dans laquelle on ajoute :

– **un durcisseur** et **un accélérateur** pour que les grosses molécules qui constituent l'Araldite s'accrochent rapidement les unes aux autres en chauffant ;

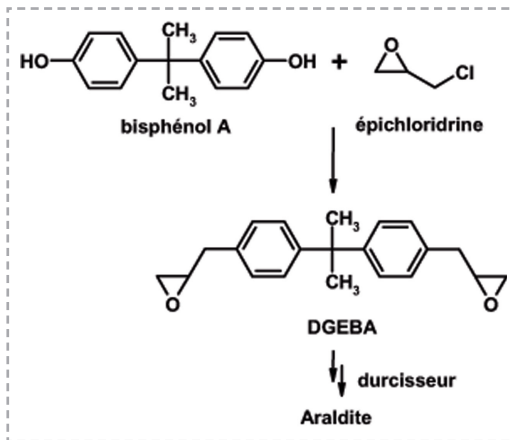


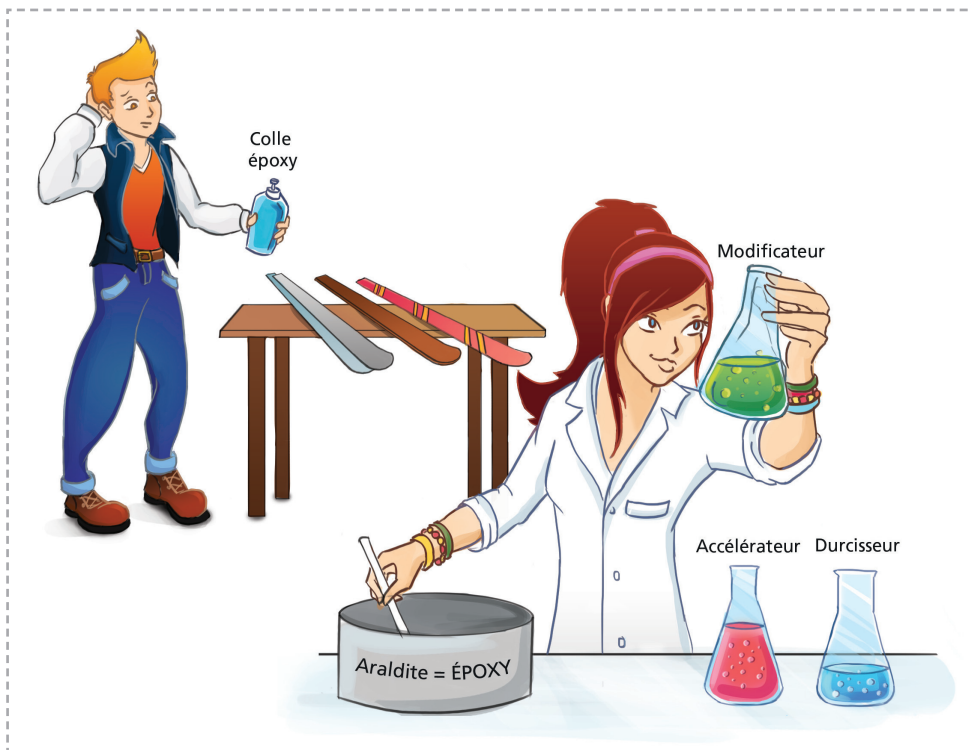
Figure 8





– un **modificateur** qui permet aux molécules de l'Araldite de bien s'accrocher aussi à d'autres molécules telles que les molécules de polyéthylène de la semelle, les fibres de verre, les fibres de carbone et les métaux des renforts (*Figure 9*).

Figure 9



### Quelles sont les caractéristiques de la résine époxy ?



Outre de coller tout, son volume reste le même après durcissement, ce qui est très important pour les skis dont les dimensions et les lignes sont réglées au dixième de millimètre. En plus, elle est élastique et ne casse pas une fois durcie.



## Coller grâce à la chimie

La résine époxy non seulement colle les différents composants du ski entre eux, mais elle imprègne et permet d'orienter (stratifier) les fibres de verre (ou de carbone) qui constituent la couche composite verre-époxy (*Figure 10*).

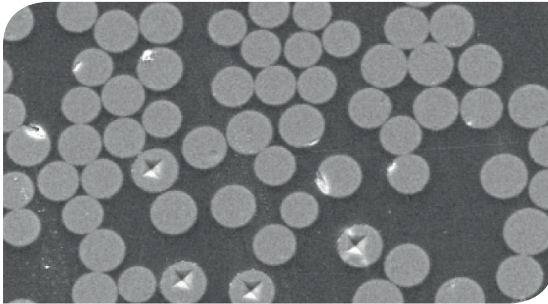


Figure 10

### Comment faire pour que tout colle bien ?



Il faut créer des liaisons chimiques solides entre la fibre et la résine, qui résistent aux chocs, à des températures pouvant aller de 0 à -30 °C :

- en ajoutant des additifs comme la résine ;
- en greffant sur la surface des fibres de verre, des molécules agents de pontage qui formeront des liaisons chimiques avec ces additifs (*Figure 11*).

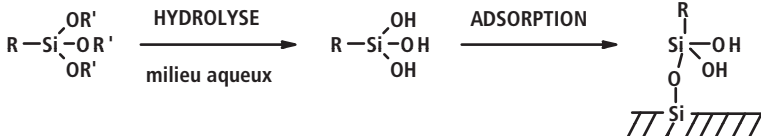
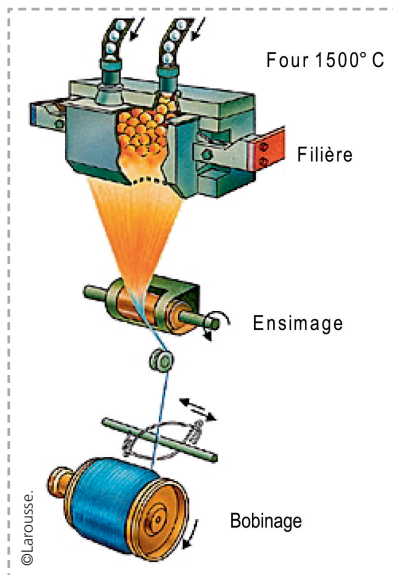


Figure 11



Figure 12



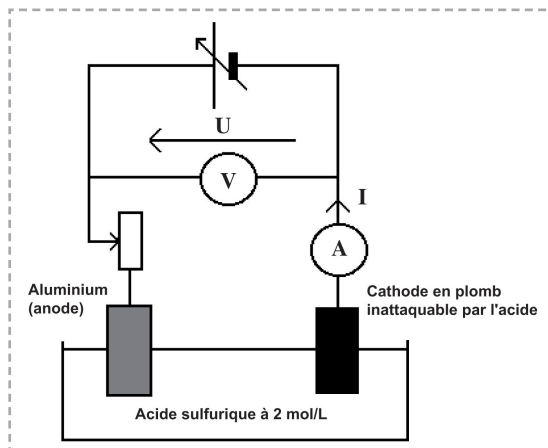
Ces agents de pontage sont greffés lors d'une opération appelée ensimage réalisée lors de l'élaboration de la fibre de verre (Figure 12).



### Comment mieux coller les couches métalliques ?

En créant, par exemple dans le cas de l'aluminium (métal largement utilisé dans les skis), par oxydation électrochimique de la surface (Figure 13), une couche poreuse de 1/10<sup>e</sup> de millimètre d'oxyde d'aluminium (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) de structure hexagonale comme un nid d'abeille qui va mieux accrocher la colle.

Figure 13







### Comment coller la semelle de polyéthylène ?

En l'exposant d'abord à une flamme oxydante, appelée opération de flammage, qui va introduire des fonctions chimiques dans les molécules de surface du polymère qui réagiront avec des fonctions chimiques de la résine époxy, ou d'autres adhésifs si nécessaire.

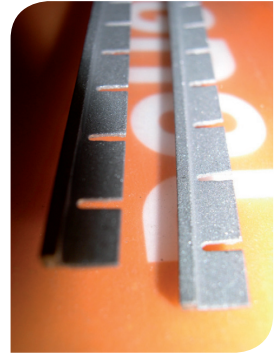


Figure 14

Il est difficile de coller le polyéthylène avec les carres en acier. Pour faciliter ce collage, on fait subir aux carres un traitement de surface qui va augmenter la rugosité par une opération non chimique qui est le sablage (Figure 14).

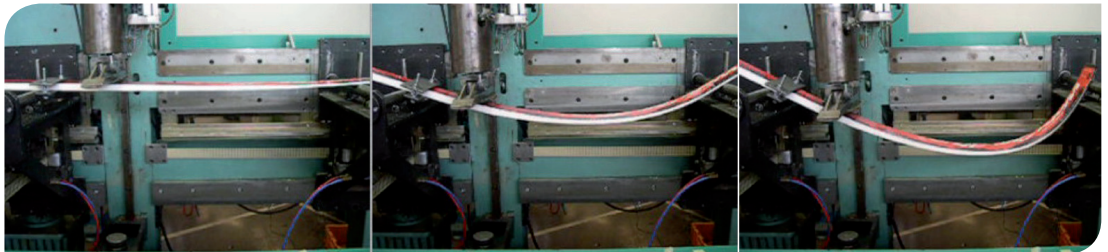
## Test de qualité

Les tests de résistance de chaque type de matériaux sont réalisés en laboratoire.

Il faut aussi tester la casse et le délaminage dans les conditions aux limites où les skis doivent supporter des déformations très importantes (saut, chutes...).

Ces conditions sont reproduites dans le test de la figure 15. On peut atteindre, pour des skis de compétition, des flèches de 120 mm sans que le ski ne casse.

Figure 15



© Skis Rossignol.



## Et la glisse dans tout cela !



Figure 16

Une paire de ski alpin glisse à des vitesses de 20 à 40 mètres par seconde.

En fait, le ski ne glisse pas sur la neige mais sur un film d'eau qui se crée entre la semelle et la neige.

La glisse est un phénomène très compliqué qui dépend de la qualité de la neige, de la nature du terrain, des qualités du skieur, de son équipement, son poids, sa position etc.

Pour améliorer la glisse, les physiciens et les chimistes doivent prendre en compte tous ces facteurs, ce qui rend leur travail très complexe.



## Faciliter la glisse

Les semelles sont en polyéthylène d'une variété que l'on appelle haute densité obtenue par frittage de poudre : les poudres de polyéthylène sont compressées en élevant la température puis refroidies.

Le frottement, qui limite la glisse, est minimum pour une certaine épaisseur du film d'eau entre la semelle et la neige (*Figure 17*).

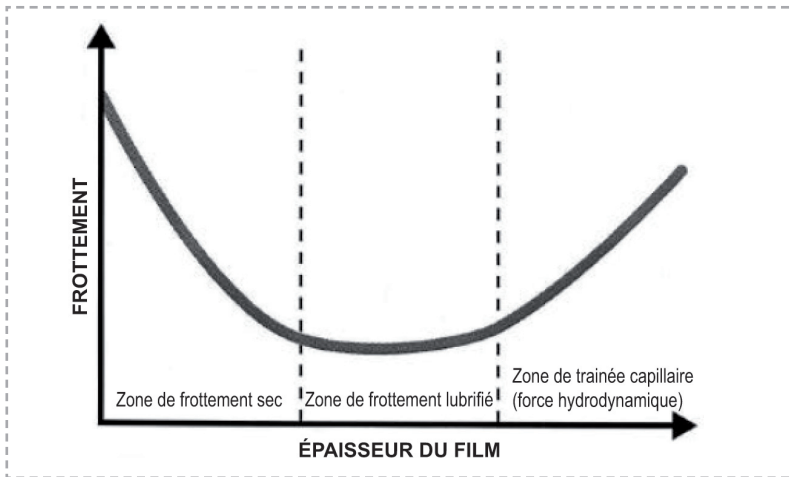


Figure 17

Quand un ski sort de l'atelier de fabrication après ponçage et polissage, la semelle est parfaitement plane (*Figure 18B*).

Mais dans ce cas, sur la neige, on se retrouve dans la partie droite de la courbe de frottement de la *figure 17* en situation d'aquaplaning, avec un film d'eau accumulé sous la surface du ski et l'apparition d'un phénomène de succion qui empêche la glisse.

Pour éviter cela et se retrouver dans la zone de frottement minimum, on structure la semelle, de la même façon que l'on structure les pneus d'une voiture, pour générer des microrugosités orientées dans le sens de la glisse (*Figure 18C*) afin d'évacuer le film d'eau lors du déplacement du skieur.

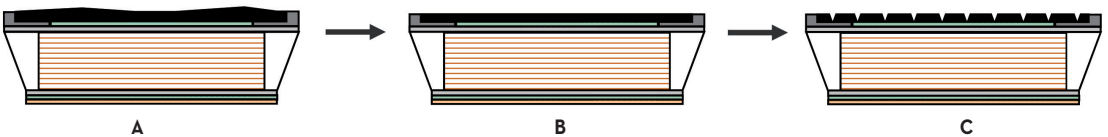


Figure 18



### Remarque

Les motifs de structuration dépendent des différents types de neige, c'est pourquoi les champions disposent de plusieurs types de skis pour les différentes conditions de neige.

## La glisse et le traitement de surface des semelles

Le polyéthylène utilisé pour les semelles de ski est un matériau qui n'aime pas l'eau (on dit qu'il est hydrophobe). Cette propriété diminue les forces de liaison à l'interface eau-semelle, ce qui favorise la glisse.

La structuration des semelles qui permet de mieux évacuer l'eau augmente encore cet effet mais cela n'est cependant pas suffisant, il faut éliminer les liaisons semelles-eau quel que soit le type de neige, et même lorsque l'on dit que la neige est « collante » quand il fait un peu chaud. Pour cela on enduit la semelle de fart (*Figure 19*).



Figure 19



Un **hydrocarbure** est une molécule qui ne contient que des atomes de carbone et d'hydrogène. De même, un fluorocarbure est une molécule qui ne contient que des atomes de carbone et de fluor.

Les farts sont fabriqués par les chimistes. Ce sont des produits à base de « paraffines », c'est-à-dire un mélange de grosses molécules d'hydrocarbures et de quelques fluorocarbures, car le fluor repousse l'eau.



### Comment bien choisir son fart

Les tests de mouillabilité des semelles fartées réalisés dans les laboratoires des fabricants ne sont pas suffisants pour choisir le meilleur fart, car la glisse dépend de beaucoup trop de choses à la fois.

Les qualités des farts sont testées sur le terrain, dans des conditions très précises par des skieurs (souvent d'anciens champions) en combinaison de compétition normalisée qui doivent adopter la même position pour l'ensemble des produits testés. Ils suivent des plans d'expérience très précis pour identifier les meilleurs farts et plus généralement, les meilleures paires de ski à fournir aux athlètes.

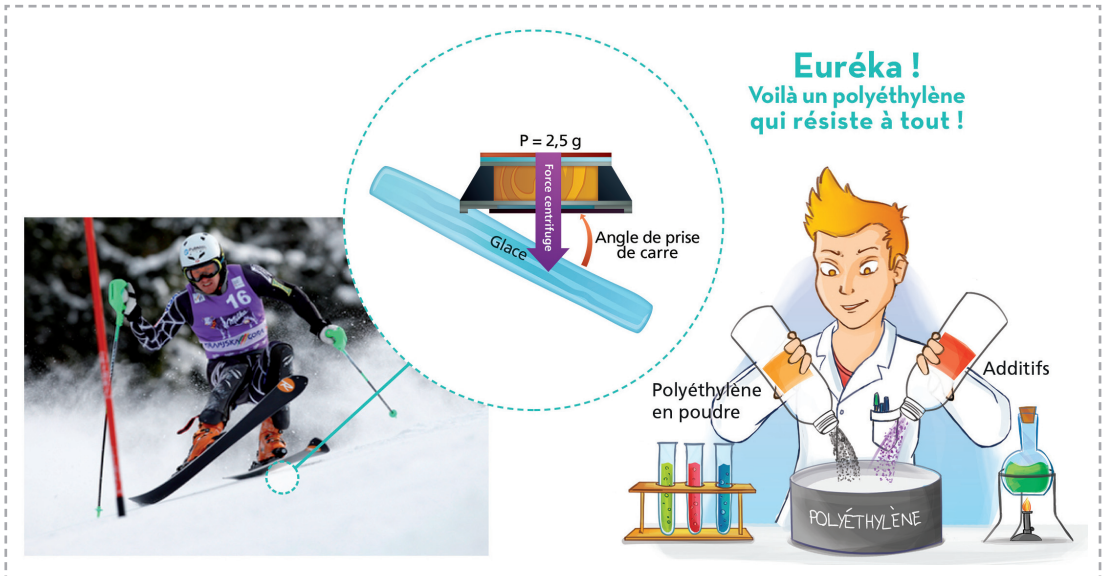
## Skier sur une patinoire ?

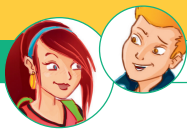
Dans les compétitions de descente, la neige est glacée après injection d'eau et les skieurs évoluent sur un mélange de neige et de glace, donc sur une patinoire inclinée.



Pour un athlète de 100 kg, c'est une pression de 250 kg qui sera directement appliquée sur le ski, c'est-à-dire sur une surface extrêmement réduite qui repose sur la neige (entourée en bleu sur la figure 20).

Figure 20





Sans être un champion de descente, il faut souvent passer sur des plaques de neige verglacée, et dans ce cas, les semelles doivent résister à l'abrasion (formation de peluches et même destruction) par la glace.

La *figure 20* montre la prise de carre du ski lorsque le coureur prend un virage à une vitesse de l'ordre de 100 km/h. Avec la force centrifuge (la force qui chasse vers l'extérieure du virage), le poids du skieur peut être multiplié par 2,5.

Les carres résistent car ils sont en acier, mais les quelques millimètres de semelles ne résisteraient pas si des matériaux spéciaux à base de polyéthylène avec des additifs et des fabrications spéciales n'avaient pas été mis au point par les chimistes en collaboration avec les fabricants de ski.

### Conclusion

**La chimie est partout présente dans un ski. Les molécules qui interviennent dans sa fabrication sont nombreuses et variées. L'évolution importante des skis et des planches de glisse est fortement liée à la chimie et à la physico-chimie. La recherche permanente de la meilleure performance pose toujours de nouveaux défis aux chimistes qui pourront, encore longtemps, travailler avec les fabricants d'équipements sportifs pour que plaisir, sécurité et performance restent associés.**