

## La recherche sur le ski dans l'entreprise Rossignol

Maurice Woerhlé

---



### Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/histoire-cnrs/1441>

DOI : [10.4000/histoire-cnrs.1441](https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.1441)

ISSN : 1955-2408

### Éditeur

CNRS Éditions

### Édition imprimée

Date de publication : 5 mai 2000

ISBN : 978-2-271-05708-2

ISSN : 1298-9800

### Référence électronique

Maurice Woerhlé, « La recherche sur le ski dans l'entreprise Rossignol », *La revue pour l'histoire du CNRS* [En ligne], 2 | 2000, mis en ligne le 17 janvier 2007, consulté le 20 mai 2021. URL : <http://journals.openedition.org/histoire-cnrs/1441> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/histoire-cnrs.1441>

---

Ce document a été généré automatiquement le 20 mai 2021.

Comité pour l'histoire du CNRS

---

# La recherche sur le ski dans l'entreprise Rossignol

Maurice Woerhlé

---

## La fabrication des skis vers 1960

- 1 Au début des années 60, l'activité de l'entreprise Rossignol reposait encore essentiellement sur la production de skis en bois, mais celle des skis métalliques était en progression et un ski en composite, fibre de verre résine, à âme creuse, était en développement.
- 2 Les fabricants de skis étaient, ici comme ailleurs, avant tout des menuisiers, à l'exception de Howard Head, aux États-Unis, qui venait du milieu de l'aéronautique.
- 3 Les skis en bois avaient atteint un niveau d'élaboration remarquable. Leur construction lamellée-collée, combinant les essences d'hickory, de frêne, de sapin, correspondait déjà aux règles de la structure sandwich, typique des poutres devant travailler à la flexion, sans que le concept en soit clairement identifié.
- 4 Rossignol avait établi sa réputation dès le début des années 40 avec l'Olympique 41, un ski très reconnaissable par son dessus vernis incolore avec deux bandes brunes en bois exotique.
- 5 La domination de l'équipe de France dans les épreuves de descente, en partie grâce aux Allais 60 et notamment la victoire de Jean Vuarnet aux jeux Olympiques de Squaw Valley, avait apporté un surcroît de notoriété, mais les skis Dynamic étaient très estimés en slalom et les Autrichiens étaient en position forte à l'étranger, grâce essentiellement à la forte pénétration de leurs moniteurs dans les écoles de ski.
- 6 La grande compétence dans le ski en bois n'était pas transposable en l'état à la fabrication des skis métalliques et des skis en composite.
- 7 La chimie des résines époxydes est tout autre que celle des urées-formols des colles à bois. Le collage du métal est très exigeant en matière de préparation de surface. La manipulation des résines de stratification comporte des risques de dermatoses et les propriétés mécaniques de ces matériaux sont mal connues. La température de polymérisation des résines, plus élevée que celle pratiquée pour les skis en bois, et le

coefficient de dilatation important de l'aluminium aggravent la difficulté de maîtrise du cambre et du placage, problème récurrent dû à la forme longue et effilée des skis.

- 8 Certains fabricants ont d'ailleurs écarté l'option du ski métallique, Dynamic en France, Kneissl en Autriche. En revanche, l'Américain Head, en retard sur les fabricants européens en matière de comportement sur neige, détient une solide avance en technologie. Il est capable de coller les carres en acier sur la peau en aluminium du ski. Kneissl a déjà mis sur le marché un ski en fibres de verre, le modèle *white star*, assemblé comme un ski en bois, mais avec des plaques préfabriquées en composite.
- 9 La fabrication des skis, bois ou métal, se déroule en cinq étapes principales :
  - Réalisation de l'ébauche. Elle est composée de trois étages, deux peaux prenant une âme en bois en sandwich. L'ensemble est collé à chaud, sous presse.
  - Usinage en largeur, par toupillage suivant gabarit.
  - Pose des carres par vissage et rivetage dans le cas de l'Allais 60.
  - Collage de la semelle en polyéthylène, emboîtée entre les carres. C'est un deuxième passage sous presse, à chaud, qui modifie le cambre et le placage obtenus sur l'ébauche.
  - Opérations de finition, avec de nombreux ponçages et peinture.
- 10 Le Fiberglass, le ski fibre de verre-résine, en développement chez Rossignol avec Gaston Hadelmann, innove totalement. Il est réalisé dans un moule, en une seule opération. La poussée nécessaire à la mise en place des éléments constitutifs est exercée à l'intérieur de l'assemblage par la mise en pression de trois chambres à air, enveloppées de tissu imprégné de résine.
- 11 Ce procédé audacieux bute sur deux obstacles : les résines de pré-imprégnation de l'époque exigent une température de polymérisation excessive pour certains des composants du ski, et l'orientation des fibres de verre, qui reste aléatoire, génère des défauts de géométrie.
- 12 Cette technologie ne débouchera que des années plus tard sur la fabrication de skis fibro-métalliques très réussis, mais elle aura, d'une certaine manière, préparé le terrain au Strato.  
Le premier grand classique des skis en fibres de verre
- 13 La structure porteuse du Strato était composée d'une âme en bois lamellée-collée et de peaux résistantes en composite verre-époxy. L'assemblage de tous les composants, y compris les carres, était réalisé en une seule opération de collage-moulage.
- 14 Ce modèle, qui tient une place importante dans l'histoire de l'entreprise, doit sa réussite industrielle à deux choix techniques clefs : la mise en oeuvre du composite verre-résine par voie humide et la maîtrise des cycles de chauffage-refroidissement des presses par condensation de vapeur, sous pression régulée et refroidissement à l'eau. Les conseils d'un ami du département des transferts thermiques du CENG ont été déterminants dans cette affaire.
- 15 Le succès commercial a résulté d'abord de son comportement sur neige. Le Strato est, je crois, le premier ski qui ait donné l'impression de tourner de lui-même. Il tenait cette qualité de la forme particulière de sa taille de guêpe, sortie comme par magie sous le rabot d'un des développeurs de la maison, Angelo Nocente.
- 16 Le Strato est le ski qui a été le plus vendu au monde, toutes marques confondues.  
L'apprentissage d'un nouveau métier

- 17 Dans cette période de domestication des matériaux nouveaux, nous avons eu la chance d'établir de bonnes collaborations avec les laboratoires de nos principaux fournisseurs. C'est par des contacts directs avec leurs chercheurs que nous avons appris les mécanismes de durcissement et de collage des résines, les spécificités des états de surface des fibres de verre, les propriétés des matériaux thermoplastiques.
- 18 De notre côté, nous nous sommes équipés de moyens de caractérisation des matériaux que nous mettions en oeuvre parfois de façon originale, pour souligner les propriétés spécifiques de leur fonction dans les skis.
- 19 C'est ainsi que nous pratiquions des essais de compression parallèle à la chaîne du tissu sur les stratifiés en composite pour simuler ce qui se passe dans la face supérieure des skis quand ils sont soumis à flexion.
- 20 La collaboration avec les fournisseurs a, occasionnellement, donné lieu à des projets communs. Ainsi, en 1977, nous avons étudié avec les ingénieurs du centre de recherche de Pechiney, à
- 21 Voreppe, la transposition de leur procédé d'anodisation phosphorique en continu à nos plaques de Zical. Nous avons, en la circonstance, pris une réelle avance dans le collage de l'aluminium et pas seulement par rapport aux autres fabricants de skis.
- 22 L'apprentissage de notre nouveau métier s'est fait surtout au fur et à mesure de la mise au point des nouveaux modèles. En voici, quelques exemples :
- 23 1967 : l'Allais Major, un ski métallique, à âme bois, destiné à remplacer l'Allais 60. L'expérience nous ayant appris tous les inconvénients des assemblages rigides tels que le rivetage et le vissage, nous devions réussir le collage des carres en acier sur l'aluminium. Les contraintes à cette interface sont importantes dès la fabrication du ski, à cause de la différence des coefficients de dilatation thermique et surtout en cours d'utilisation lors des chocs sur les pierres et les bosses. La spatule subit des accélérations pouvant atteindre 1 000 G. Nous avons choisi un adhésif phénolique en film, très réputé dans l'aéronautique. Le résultat fut tout juste acceptable. Le modèle fut sauvé par l'adjonction de minces bandes de caoutchouc spécialement traitées pour le collage.
- 24 C'est ainsi que nous avons appris que l'élasticité des colles avait, pour les skis, autant d'importance que leur performance en cisaillement.
- 25 1970 : le Roc 550. Bayer venait de mettre au point une résine polyuréthane donnant par gonflement et durcissement un matériau alvéolaire semi-rigide susceptible de remplacer le bois dans certaines applications. Ses caractéristiques de résistance, bien que légèrement inférieures à celles de l'okoumé utilisé pour l'âme de l'Allais Major, paraissaient suffisantes, et sa relative souplesse par rapport au bois était prometteuse pour le comportement sur neige. De fait, le Roc 550 s'est révélé bien supérieur, sur neige dure, à son prédécesseur.
- 26 Sur le plan technologique, nous avons eu à surmonter de sérieuses difficultés de collage qui furent dissuasives pour bon nombre de nos concurrents. L'introduction du polyuréthane a été un virage déterminant pour l'entreprise. À partir de ce jour, nous avons commencé à être de moins en moins des menuisiers et de plus en plus des plasturgistes, tous les modèles haut de gamme et certains modèles de moyenne gamme étant réalisés dès lors avec une âme en polyuréthane.

Les mystères du comportement sur neige

- 27 Ce qui faisait qu'un ski avait ou non un bon comportement sur neige n'était pas élucidé au début des années 60.
- 28 On savait qu'il fallait certaines caractéristiques de raideur, de cambre, de placage d'un ski contre l'autre, et on ajoutait à cela une notion de « nervosité » mal définie. En outre, on se préoccupait assez peu des cotes de largeur.
- 29 Le niveau des connaissances était à peu près le même qu'il s'agisse des fabricants, des détaillants et des utilisateurs avertis.
- 30 L'un des premiers points d'interrogation était, en ce qui me concerne, le placement du pied sur le ski. Les coureurs du GUC (Grenoble université club) montaient leurs fixations en se référant, d'une part, à l'avant de la semelle de la chaussure et, d'autre part, au point d'équilibre du ski.
- 31 Les détaillants utilisaient une règle graduée en fonction de la taille du ski qui aboutissait approximativement au même résultat.
- 32 Cette méthode donnait des résultats absurdes sur les skis de petite taille. Sur les skis des enfants, l'ensemble chaussure-fixation n'était pas loin d'occuper la totalité de la moitié arrière.
- 33 Nous avons pris l'habitude dans nos essais de comportement sur neige, dont je parlerai un peu plus loin, d'expérimenter différents placements du pied, grâce à un montage permettant de décaler la fixation cran par cran. Nous avons remarqué que beaucoup de skis réagissaient à un décalage de seulement cinq millimètres.
- 34 À la suite d'un essai en aveugle avec plusieurs skieurs ayant des chaussures de pointures nettement différentes et utilisant tour à tour les mêmes skis équipés de fixations mobiles, il est apparu, comme nous nous y attendions, que le meilleur placement pour chacun correspondait à une position de l'avant de la chaussure d'autant plus avancée que la chaussure était longue.
- 35 Sur la base de cette expérience, nous avons placé sur nos skis une marque, pour l'avant de la chaussure, graduée en longueurs de semelles. C'était en 1971.
- 36 Nous pensions que le point de référence exact pourrait bien être le milieu du pied ou le milieu de la semelle de la chaussure.
- 37 C'est ce que montrèrent des essais complémentaires portant notamment sur le point d'équilibre du skieur en attitude simulée de descente directe sur pente moyenne et, par radiographie, sur la position du pied dans la chaussure.
- 38 En résumé, cela voulait dire que la projection du centre de gravité du skieur doit passer par un endroit précis donné du ski, quel que soit le skieur, et que cette projection est repérable, avec une approximation suffisante, par le milieu de la semelle de la chaussure. Il nous restait à convaincre nos concurrents de bien vouloir mettre la marque convenable sur leurs skis, les fabricants de chaussures d'indiquer le milieu de la semelle et les fabricants de fixation de remplacer les gabarits de montage par des gabarits se positionnant par rapport au milieu de la chaussure et par rapport à cette nouvelle référence sur le ski.
- 39 Les travaux de normalisation, entrepris à l'initiative des Allemands avec un objectif d'amélioration de la sécurité, nous ont donné la possibilité de toucher d'un coup la totalité de la profession.
- 40 Le principe du point de montage central a fait l'objet d'une norme ISO en septembre 1973.

- 41 Sans en avoir conscience, nous avons ainsi évacué le dernier archaïsme légué par le ski scandinave venu à la conquête des Alpes vers 1890. La référence à l'avant de la chaussure et au point d'équilibre du ski était, en effet, la règle de montage inventée par les Lapons pour leurs skis de marche et, d'ailleurs, elle est toujours valable pour les skis de fond.
- 42 Les essais de comportement sur neige jouent un rôle déterminant dans la mise au point des skis. Ils sont encore aujourd'hui irremplaçables.
- 43 Nous avons établi une procédure permettant de réduire les aléas qu'il y a dans toute évaluation subjective.
- 44 L'équipe d'essai habituelle comprenait, outre Adrien Duvillard, un technicien préparateur de ski et un ou deux ingénieurs de développement. Le terrain d'essai était choisi en fonction des conditions de neige, de la topographie de la piste et de la proximité d'une remontée mécanique. L'objectif était de pouvoir exécuter les différents types de virages, à court et long rayon, dans un laps de temps assez bref pour que l'accumulation des sensations ne brouille pas le souvenir des premières.
- 45 Nous notions immédiatement nos appréciations, parfois avec les mots tels qu'ils nous venaient à l'esprit, mais le plus souvent avec un vocabulaire qui nous était devenu familier et dont le sens était clair pour nous. Nous respections une règle d'or : ne rien se dire avant la fin des essais.
- 46 Les tests portaient sur un nombre limité de skis, moins de six paires, de même taille et appartenant à la même famille de comportement. Parmi ces skis, une paire bien connue de nous servait de base de comparaison.
- 47 Il faut en effet ne pas oublier qu'on ne juge pas un ski dans l'absolu. En réalité, on apprécie une interaction ski-neige, largement dépendante de la qualité de la neige.
- 48 A force d'essayer des skis tant sur la neige qu'en laboratoire, un certain nombre de corrélations commencèrent à émerger. C'est ainsi que les skis métalliques étaient les meilleurs dans les virages de type slalom géant et présentaient, par ailleurs, la plus grande raideur en torsion. Les skis en fibres de verre étaient nettement les plus performants en virage à court rayon sur la glace; leur raideur en torsion ressortait à un niveau intermédiaire entre celle des skis métalliques et celle des skis en bois.
- 49 La relation entre la raideur torsion et le type de virage devenait assez claire.
- 50 Nous avons du mal à corrélérer les valeurs de raideur en flexion avec le comportement du ski, mais l'idée vint, de notre service course, que le cramponnage sur la glace pouvait être amélioré en diminuant la raideur de la partie médiane du ski. C'était à contre-courant des idées admises depuis des décennies et difficile à expliquer.
- 51 Jusqu'au moment où nous nous sommes mis à raisonner en termes de répartition de pression sur la neige : plus de souplesse au milieu du ski concentre la pression sous le pied et augmente la pénétration de la carre dans la glace. Le mécanisme de cramponnage sur la neige devenait compréhensible, et bon nombre des observations que nous avons faites, sur le terrain ou en laboratoire, se rejoignaient alors dans un système cohérent.
- 52 La mesure de répartition de pression devenait une nécessité. La machine que nous réalisâmes comportait deux cents tubes plastiques souples, parfaitement calibrés, remplis de mercure et reliés à autant de tubes verticaux en verre. La hauteur des

colonnes de mercure donnait une image approximative, mais très parlante, de ce qui se passe sous un ski en fonction de la charge appliquée.

La collaboration avec la recherche publique

- 53 Nous avons commencé à faire appel à des laboratoires publics en 1973.
- 54 Cela se serait certainement produit plus tard si nous n'avions pas eu la visite de François Juillet, délégué régional de la DGRST. Il conduisait alors une première expérience en France d'action concertée décentralisée visant à mettre en rapport entreprises et laboratoires. Elle concernait les matériaux composites dans la Région Rhône-Alpes.
- 55 Nos partenaires ont été le Laboratoire de mécanique des sols de Grenoble et le LETI au CENG. Le premier pour mettre au point un programme de calcul de raideur et de répartition de pression d'un ski en appui sur un massif semi-rigide. Le second pour traiter les signaux obtenus sur le terrain avec des skis instrumentés.
- 56 Nous avons, à cet effet, équipé des skis de jauges de contraintes et réalisé une chaîne de mesure embarcable comportant un enregistreur quatre voies, disposé sur un harnais. Il s'agissait de connaître la réalité des contraintes supportées par le ski en utilisation, notamment dans les champs de bosses, très fréquents à cette époque, pour les rapprocher de celles auxquelles ils étaient soumis sur nos bancs d'essai.
- 57 En 1978, nous nous sommes impliqués dans un projet de recherche lancé par l'équipe de France de ski, avec la participation du CENG et l'aide financière de la DGRST. C'est dans le cadre de cette recherche qu'a été expérimentée une méthode de mesure de vitesse quasi instantanée, sur une base de 30 mètres, à l'aide de barrières à rayon laser et d'un chronomètre électronique au dix millièmes de seconde. On peut ainsi accéder aux accélérations, donc aux forces en jeu.
- 58 Cette recherche a permis, entre autres, de déterminer des ordres de grandeur fiables sur le frottement ski-neige et sur la traînée aérodynamique. Ultérieurement, nous avons développé, par nos propres moyens, une méthode de mesure continue de la vitesse à l'aide d'un radar dérivé de ceux de la police de la route. Le Centre d'étude de la neige nous a apporté son aide pour la réalisation et la mise en oeuvre d'une mini-station de caractérisation de la neige. L'un des programmes de recherche les plus fructueux pour l'entreprise a été celui consacré à l'étude du comportement dynamique des skis. Nous avons acquis la conviction que toutes les sensations que l'on pourrait regrouper sous l'expression de « toucher de neige », ainsi que certains phénomènes d'instabilité, relevaient de mécanismes communs.
- 59 Nous avons eu la chance de recruter à cette époque un jeune ingénieur ayant déjà une expérience de la mesure des vibrations. Pour mener à bien cette étude, dont la difficulté nous impressionnait quelque peu, nous avons besoin de trouver des compétences solides à l'extérieur de l'entreprise. Ce furent le Laboratoire de mécanique des structures de l'INSA de Lyon et le LETI de Grenoble.
- 60 Cette recherche a été divisée en deux parties : la première, expérimentale, visait à identifier les phénomènes par des mesures sur site; la seconde, théorique, à construire un modèle mathématique permettant de simuler sur ordinateur le phénomène rencontré. Le programme a été soutenu par l'ANVAR.
- 61 L'étude des signaux enregistrés sur le terrain, effectuée sur les ordinateurs du LETI, a révélé la présence de trois modes principaux en flexion :
- Un premier mode, autour de 13 hertz, dominant dans les virages dérapés à court rayon.

- Un deuxième mode, de l'ordre de 26 hertz, lié aux chocs frontaux contre les bosses.
  - Un troisième mode, autour de 40 hertz, prédominant dans les virages à long rayon, dans lesquels les skis se maintiennent à peu près tangents à la trajectoire.
- 62 Nous n'avons eu aucune difficulté à faire le rapprochement entre le premier mode et les vibrations de broutage des skis en forte prise de carre en travers de la pente. De même, il était clair que le troisième mode était celui qui provoquait, quand il devenait excessif, le flottement des skis dans les virages coupés en slalom géant.
- 63 Ayant acquis, chemin faisant, la confirmation que les vibrations de faible amplitude étaient favorables et même nécessaires pour assurer le dérapage des skis, nous avons été naturellement conduits à l'idée de moduler l'amortissement suivant la destination des modèles.
- 64 Le modèle mathématique a permis de calculer la fréquence, la déformation du ski et la distribution d'énergie liées à chacun des modes vibratoires. En somme, il nous disait où introduire de l'amortissement pour traiter spécifiquement l'un ou l'autre des modes vibratoires.
- 65 En réalité, les indications du modèle devaient être considérées avec prudence car il n'était pas capable de prendre en compte correctement la neige.
- 66 Les essais sur neige, effectués avec des amortisseurs amovibles, ont cependant confirmé de façon spectaculaire la validité de la démarche et l'efficacité des amortisseurs.
- 67 Mieux encore, les essayeurs parvenaient à détecter des écarts de réponse en fonction de l'emplacement des amortisseurs, et ce à quelques centimètres près.
- 68 C'est ainsi qu'a été créé le système VAS, V pour vibrations et A pour absorption, qui est à Rossignol ce qu'est la suspension oléopneumatique à Citroën.
- 

## INDEX

**Mots-clés :** Ski Rossignol

## AUTEUR

**MAURICE WOERHLÉ**

Maurice Woehrlé, ancien directeur de la recherche des Skis Rossignol