

Les sports de neige – un rapport de forces!



Table des matières

	page
Avant-propos	1
Introduction	1
Principes/Terminologie	2
– principes et définitions	2
– terminologie	2
– forces internes et forces externes	3
– comportement de l'équilibre	3
La biomécanique dans les sports de neige	3
– les forces en jeu lors d'une descente dans la ligne de pente	3
– les forces en jeu lors d'un virage	4
Explications spécifiques à chaque engin	5
– Ski	5
– Snowboard	6
Exemples pratiques	8
Bibliographie	8
Achévé d'imprimer	8

La biomécanique dans les sports de neige

Avant-propos

par Riet R. Campell (Director de SWISS SNOWSPORTS)

- Quelles forces veut-on maîtriser en travaillant sur une surface bien préparée?
- Pourquoi est-il important, lors d'une course, de bien s'accroupir?
- Pourquoi les fixations se décrochent-elles lors d'un passage trop rapide d'une piste à la poudreuse?
- Quelles sont les forces en jeu lorsqu'on glisse sur une bosse?
- Comment peut-on, en skiant, augmenter la surface d'appui pour éviter de chuter?

Ces questions, parmi tant d'autres, surgissent quotidiennement dans l'enseignement; grâce au présent numéro d'Academy, elles devraient aisément trouver réponse. Toute explication se justifie par des règles biomécaniques claires, qui ne laissent guère d'espace à la probabilité.

L'heure est à l'amusement: que ce soit lors de l'application pratique des formules ou de la découverte des raisons mécaniques d'une chute!

Introduction

par Andri Poo, Renato Semadeni (SWISS SNOW DEMO TEAM)

Dans le manuel «Sports de neige en Suisse», le modèle d'action est présenté comme la base de tout enseignement et de tout apprentissage. Son objectif est de communiquer un savoir des plus étendus et une vision globale des sports de neige. La biomécanique constitue une pierre de cet édifice.

S'il veut être un bon pédagogue, un professeur de sports de neige doit disposer de certains rudiments de biomécanique. La compréhension des principes de biomécanique est essentielle à l'application du concept technique des manuels de Sports de neige en Suisse. Le présent numéro d'Academy doit servir de base et de document de travail en biomécanique pour les cours de formation et de perfectionnement. Notre but n'a pas été de rédiger un manuel scientifique, mais bien plutôt d'expliquer au mieux les principes de physique qui s'appliquent aux sports de neige. Les thèmes traités ne sont pas définitifs et ont parfois été simplifiés du point de vue scientifique. Il faut également noter que les influences spécifiques aux matériaux n'ont pas été traitées.

Principes / Terminologie

Principes et définitions

Force

Force = masse (poids corporel en kg) x accélération, $\vec{F} = m \times \vec{a}$ [N]
 Unité de force: Newton [N], 1N = 1kg x 1m/s²
 Les forces sont des grandeurs dirigées, déterminées par leur valeur et leur direction.
 \vec{F} = force avec une direction et une valeur déterminées
 F = force avec valeur seule (intensité de la force en kN par ex.)

Accélération

Une accélération peut être positive (vitesse accélérée) ou négative (vitesse décélérée/freinante). Lorsque l'accélération = 0, la vitesse ne varie pas.

Principe d'inertie

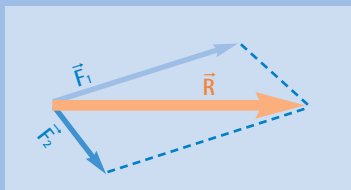
Un corps ne modifie son état mécanique que lorsqu'il y est contraint par une force. Cela signifie qu'il suivra son trajet/sa trajectoire avec une vitesse constante.

Principe d'action et de réaction

Si un corps agit avec une force \vec{F}_1 sur un deuxième corps (action), le deuxième corps agit sur le premier avec une force contraire d'intensité équivalente \vec{F}_2 (réaction).

Composition et décomposition des forces

Souvent, on cherche à obtenir une force \vec{R} (résultante) par la composition (combinaison) de deux forces ou plus. Cette situation peut être représentée à l'aide d'un parallélogramme des forces.



La décomposition d'une force \vec{R} en ses deux composantes est réalisée selon le même principe.

Terminologie

Centre du gravité du corps CGC

Poids \vec{P}

Force normale \vec{N}

Force de stabilité \vec{D}

Force de frottement \vec{F}_f

Centre des forces de toutes les masses partielles d'un corps.
 Force due à l'application de la pesanteur sur le centre de gravité.
 Force perpendiculaire à la force de réaction agissant sur le support à la suite du poids \vec{P} .
 Force résultant de $\vec{P} + \vec{N}$; lorsque le support est horizontal, $\vec{D} = 0$.
 Lorsque deux corps se déplacent l'un contre l'autre, on observe une force freinante, la force de frottement \vec{F}_f , $\vec{F}_f = \mu \times \vec{N}$ (μ = coefficient de frottement).

Forces d'inertie \vec{F}_i

Force centrifuge \vec{F}_c

Force de fuite

Force centripète

Surface d'appui

Les forces d'inertie se font sentir lorsque le corps subit une accélération (positive ou négative).

Force d'inertie radiale qui pousse/tire le conducteur vers l'extérieur du virage à la suite d'un changement de direction.

= force centrifuge

Force de réaction à la force centrifuge.

C'est le nom de la surface encadrée par les deux skis. La surface d'appui du snowboard est la superficie qui est réellement en contact avec la neige.



Forces internes et forces externes

Les forces internes sont les forces qui agissent entre les différentes parties du corps, notamment les forces musculaires et les forces articulaires. Seules, ces forces ne peuvent pas modifier l'état mécanique du centre de gravité du corps. Comme le skieur se trouve la plupart du temps en contact avec le support, les forces internes (changements de position des différentes parties du corps) provoquent des forces de réaction externes.

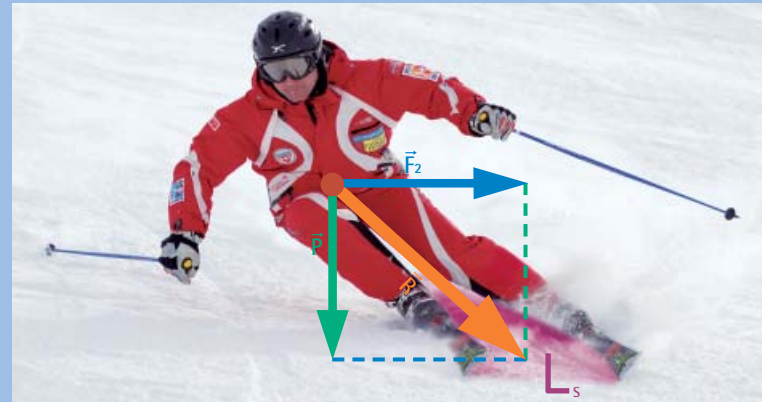
Les forces externes naissent à la suite de la force d'attraction ou par réaction au skieur (force de réaction).

Dans les sports de neige, ce qu'on désigne par mouvements-clé de rotation sont des forces internes produites par les mouvements des parties du corps. Ceux-ci ont pour effet des moments angulaires qui provoquent la rotation du corps ou de certaines de ses parties. Puisque le skieur est toujours en contact avec la neige – à moins d'être en l'air –, c'est finalement la résistance de la neige (force externe) qui détermine l'ampleur de la rotation de l'engin à la suite du moment angulaire.

En principe, les mouvements-clé nommés «élévation», «abaissement», «bascule» et «angulation» sont aussi produits par des forces internes; ils servent à modifier la position du corps.

Comportement de l'équilibre

Pendant la course, l'effet des forces en action doit être réglé, intercepté ou redirigé par le skieur de telle manière que la résultante \vec{R} traverse la surface d'appui S . Aussi longtemps que ceci est le cas, le skieur se situe dans un équilibre dynamique et ne chute pas.

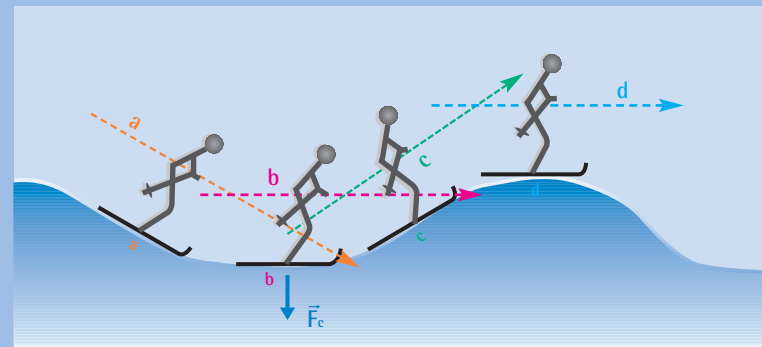


La biomécanique dans les sports de neige

Les forces en jeu lors d'une descente dans la ligne de pente

Lors d'une descente dans la ligne de pente, les forces en jeu sont moindres que lors d'un virage, puisqu'il n'y a pas de changement de direction qui puisse donner naissance à la force centrifuge. L'intensité des forces varie selon l'inclinaison et les propriétés du support. Dans une descente dans la ligne de pente sur un support plan, les forces au bout de la page sont en jeu.

Lors d'une descente dans la ligne de pente sur une surface irrégulière, les forces qui entrent en jeu sont centrifuges verticales; elles appuient le skieur dans une dépression ou l'élèvent sur une bosse. Les lignes d'inertie a-d montrent le parcours du centre de gravité du corps (CGC) tel qu'il serait si le CGC pouvait «continuer» sa route sans subir l'influence de forces internes ou externes, et à une vitesse constante.



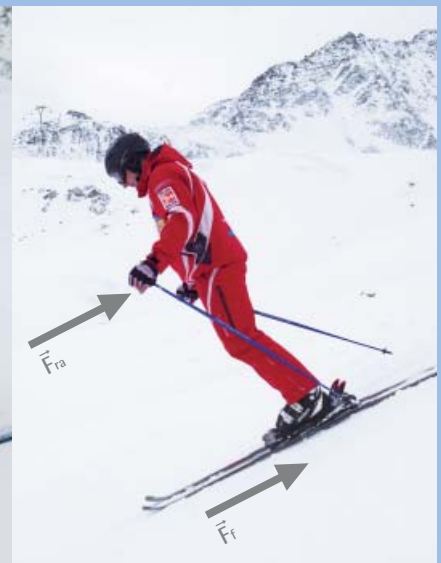
Pesanteur/force normale



Pesanteur/force normale/force de déclivité



Forces de frottement/résistance de l'air



Les forces en jeu lors d'un virage

Les forces qui apparaissent dans un virage et les éléments qui les accompagnent sont quelque peu plus complexes. Les forces se modifient dès qu'il y a un changement de direction (éloignement de la li-

gne de pente) ou des modifications de vitesse au sein d'un virage. Les deux graphiques ci-dessous montrent, de manière schématique, les forces en jeu lors du déclenchement d'un virage en phase de conduite 1 et en phase de conduite 2.



Au cours du virage (variante de bascule), les forces qui agissent sur le CGC se modifient de la façon suivante:



Constatations

- force centrifuge: modification (augmentation) avec vitesse supérieure ou rayon plus étroit
- force de déclivité: modification à la suite de l'inclinaison de la pente et/ou de la pesanteur
- pesanteur: une augmentation a pour effet une force de déclivité supérieure
- force résultante: exige une force de réaction qui est ressentie comme «pression».

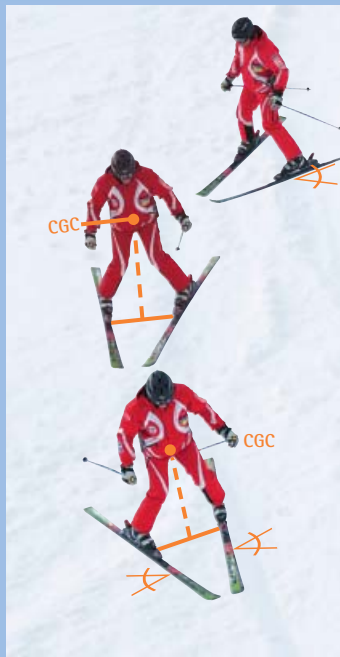
Rapports de principe

- plus la vitesse est élevée, plus la force centrifuge \vec{F}_c croît
- plus le terrain est raide, plus la force de déclivité \vec{D} croît
- plus la force résultante \vec{R} est grande, plus la résistance de la neige doit être élevée (angle de prise de carre par un mouvement d'angulation et de bascule)

Explications spécifiques à chaque engin

Ski

Chasse-neige tournant



Lorsqu'on glisse sur un terrain plutôt plat, la force de déclivité subie est relativement petite. C'est pourquoi il suffit d'une force faible pour s'éloigner de la ligne de pente. À cause de la faible vitesse, la force centrifuge est également moindre. Sur les illustrations de la page 4, on voit que la force résultante \vec{R} s'atténue elle aussi de cette manière.

Dans la pratique, ceci signifie:

- petit changement de position du CGC nécessaire
- petits angles de prise de carre possibles
- forces internes nécessaires faibles

Virages courts

Un virage court sur une piste raide exige une résistance de la neige relativement élevée (grande force de réaction); celle-ci permet de réaliser un véritable virage, et non pas un simple dérapage latéral. Cette résistance est obtenue par une prise de carre adéquate. Comme la vitesse du CGC (centre de gravité du corps) est plutôt faible, de grands mouvements de bascule ne sont pas permis, au risque de voir la force résultante \vec{R} se déplacer vers le ski intérieur, voire se placer à l'extérieur de la surface d'appui. Les images suivantes permettent de visualiser la différence entre virage court et virage parallèle. La distance du CGC à la surface d'appui ($=d$) varie en fonction des mouvements-clé (bascule ou angulation).



Par conséquent, pour transférer \vec{R} contre le bord extérieur de la surface d'appui (lestage supérieur du ski extérieur), il faut travailler avec le mouvement-clé «angulation».

Au cours de la phase de déclenchement, les forces internes jouent un rôle important dans l'esquisse des mouvements-clé «rotation» et «abaissement-élévation». La rotation du haut du corps a pour effet une pré-tension entre le haut du corps et les jambes. Aussitôt que la résistance diminue, les skis posés à plat se tournent et peuvent être dirigés sur le virage suivant.

C'est au cours de la phase de conduite 1 que la tension entre la partie supérieure du corps et les jambes diminue. En phase de conduite 2, pour obtenir la résistance nécessaire, les articulations des hanches et des genoux doivent attaquer des mouvements d'angulation. Une poursuite de la rotation du haut du corps au-delà de la direction de la conduite transposerait le CGC vers l'intérieur et empêcherait le mouvement d'angulation. C'est pourquoi le haut du corps reste, à partir de la zone de la ligne de pente, plutôt dirigé vers l'aval.

Virages dans la poudreuse

La glisse dans la poudreuse est un cas particulier dans la mesure où le support – les propriétés de la neige –, est différent. La neige molle offre une grande résistance, la pesanteur du corps faisant plonger. Ainsi, un skieur plus lourd rencontre plus de résistance qu'un skieur plus léger. Pour diminuer la résistance, il faut augmenter la surface d'appui (engin) et la vitesse. Dans la poudreuse, les effets des mouvements sont autres que sur les pistes.

Observons ici la phase de déclenchement: dans la poudreuse, une élévation ne permet que difficilement le délestage de l'engin. Une grande partie des forces se perd à vouloir écraser la neige – on s'enfonce encore plus profondément. C'est pourquoi, dans la poudreuse, un virage est déclenché selon le principe «abaissement-bascule-rotation». Le support étant souple, la résistance ne peut, lors d'un virage, être modifiée par la fonction «prise de carre». Dans la poudreuse, ce sont, en plus de la vitesse et de la surface d'appui, nos mouvements d'élévation et d'abaissement actifs qui influencent la résistance. Une élévation active a pour effet un affaissement plus profond, et donc plus de résistance.



Snowboard

Variante de bascule coupée (carvée)

Phase de déclenchement: lors du déclenchement d'un virage, le centre de gravité du corps (CGC) se déplace vers l'aval (mouvement d'angulation), ce pourquoi il nécessite une force interne. Comme illustré, cette force est principalement amorcée par un léger mouvement d'angulation au niveau des hanches et donc, par une prise de carre plus importante (similaire au déclenchement d'un virage à vélo). Le snowboarder perd ainsi son «équilibre dynamique» et doit diminuer, et finalement changer, la prise de carre.

Phase de conduite 1: lors de la phase de conduite 1, on prend continuellement de la carre, jusqu'à ce que la force résultante \vec{R} tra-

verse à nouveau la surface d'appui et rétablisse ainsi l'«équilibre dynamique».

Phase de conduite 2: lors de la phase de conduite 2, il s'agit de maintenir l'«équilibre dynamique» en utilisant des forces qui augmentent de manière constante et se modifient de façon imprévisible.

Exercices pour apprendre les mouvements:

- faire des traversées courtes, qui laissent le temps de préparer la différenciation des mouvements.
- au début de la phase de déclenchement, provoquer une «perte de l'équilibre dynamique» par: une angulation voulue en avant et vers l'amont et/ou une prise de carre rapide et plus importante - une bascule directe en avant et vers l'aval - et/ou une diminution voulue de la prise de carre.



Variante d'élévation (dérapée)

Phase de déclenchement: par l'interruption du mouvement d'élévation à la fin de la phase de déclenchement, la planche est délestée (force d'inertie opposée à la pesanteur). Simultanément, elle est mise en rotation par les forces internes du mouvement-clé «rotation». Un timing optimal de ces mouvements raccourcit la phase de l'«équilibre dynamique» instable et facilite ainsi le déclenchement du virage.

Phase de conduite 1+2: le snowboarder adopte le comportement décrit lors de la phase de conduite 1+2 pour la variante de bascule, mais aussi cherche la stabilité en s'abaissant de plus en plus (position basse).

Exercices pour l'apprentissage des mouvements:

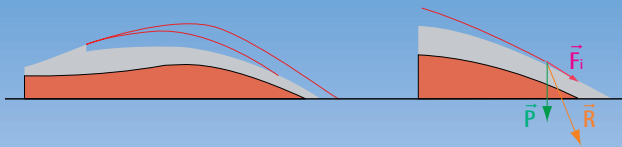
- une élévation rapide avec rotation facilite la phase de déclenchement.
- une position basse favorise l'équilibre dynamique.



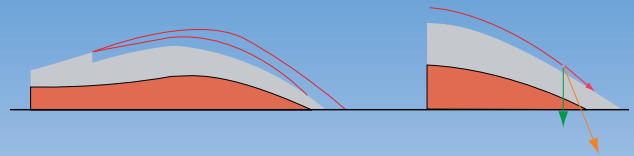
Kicker

Trajectoire: la trajectoire est déterminée par l'angle du tremplin, la vitesse de décollage, le mouvement de l'ollie (accroissement de l'angle) et la résistance de l'air \vec{F}_a . La hauteur et la largeur du saut peuvent être calculées par le maintien de l'énergie.

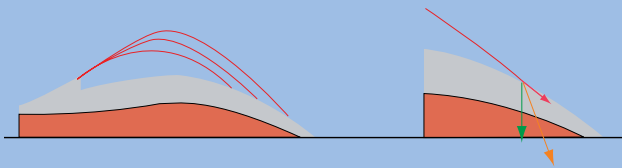
Forces pendant l'atterrissage: les principales forces en action sont la pesanteur \vec{P} d'une part et la force d'inertie \vec{F}_i d'autre part. Le rider doit faire agir une force musculaire qui empêche ses genoux et ses hanches de se «replier» et donc de chuter.



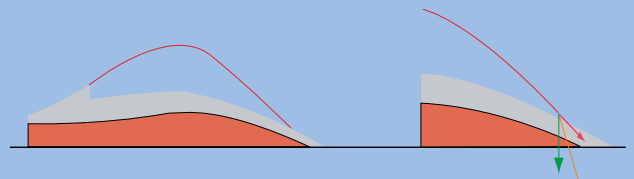
Angle de décollage plat/angle d'atterrissage plat: la force résultante \vec{R} se compose de \vec{F}_i et de \vec{P} . Le volume de lestage qui agit sur le rider pendant l'atterrissage dépend de l'angle formé par la résultante \vec{R} avec la surface. Dans ce cas, le rider est soumis à un lestage moyen et à une marge de variation étroite.



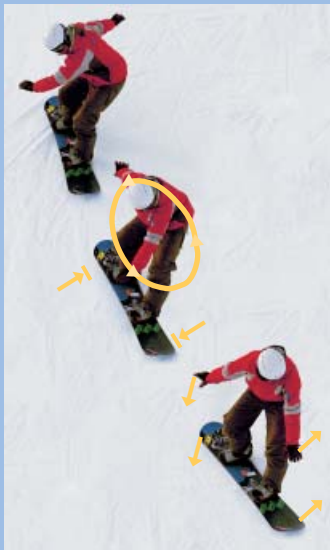
Angle de décollage plat/angle d'atterrissage avec forte inclinaison: bien que cette variante présente un lestage faible, la marge de variation étroite augmente le risque de «dériver» de la zone d'atterrissage.



Angle de décollage avec forte inclinaison/angle d'atterrissage avec forte inclinaison: lors de l'atterrissage, la force résultante \vec{R} forme un angle plat avec la surface, ce qui donne lieu à un lestage important. En outre, un angle d'atterrissage avec forte inclinaison permet une plus grande variété de hauteurs et de largeurs de sauts, c.-à-d. une diversité plus grande sur un espace plus petit.



Angle de décollage avec forte inclinaison/angle d'atterrissage plat: comme ici, les facteurs d'angle ne vont pas ensemble, le lestage s'élève drastiquement pour le rider. Dans ce cas, l'angle formé par la résultante \vec{R} avec la surface d'atterrissage est à son maximum.



Déclenchement du spin

En principe: pendant la phase de vol, seules la vitesse de rotation et la position du corps par rapport à l'axe de rotation peuvent être modifiées. Cette situation n'est pas sans rappeler les artistes du ski et de la gymnastique acrobatique, qui, avec des mouvements ciblés des bras, mais aussi en repliant et en ouvrant le haut du corps et les jambes, parviennent à modifier les figures qu'ils exécutent.

Phase de déclenchement: il est essentiel de terminer le moment angulaire (déclenché par des mouvements de la tête, des bras et du haut du corps) au dernier moment du contact avec la neige; en fait, le mouvement de rotation doit être interrompu par une co-rotation. Il va de soi que la vitesse de rotation se forme essentiellement au moment du déclenchement. Le nombre de tours qu'on peut réaliser à un instant donné croît avec le moment angulaire. L'extension des bras facilite le déclenchement.

Le rider doit veiller à ne pas faire subir à la planche une co-rotation trop tôt. Dans ce but, il essaie de maintenir une légère prise de carre et de ne quitter la neige qu'au décollage (ollie/n'ollie). Par une légère ligne en S ou une torsion, on peut empêcher que la planche ne glisse (voir illustration: flèche avec stop).

Phase de vol: le moment angulaire créé reste constant durant toute la phase de vol.

– **vitesse de rotation:** l'extension des bras et du corps ralentit la vitesse de rotation; un fléchissement des bras produit l'effet contraire.

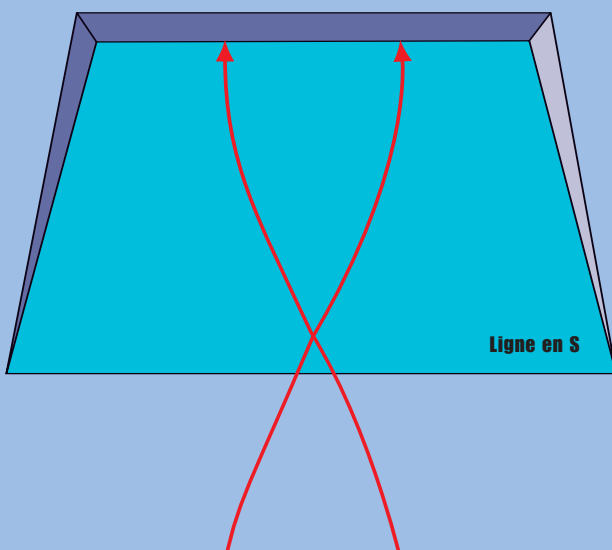
– **changement de l'axe de rotation:** rabattre les bras asymétriquement, par ex. avec un bras étendu au-dessus de la tête et l'autre perpendiculaire au corps.

Phase d'atterrissage: un dosage exact permet au rider expérimenté d'évaluer, d'après la sensation de mouvement, l'élan dont il a besoin pour la rotation et la direction souhaitées. Il est également possible de ralentir la vitesse de rotation en rabattant les bras; de cette façon, le trick se termine «proprement».

Conséquences: Une utilisation importante de la carre (légère ligne en S sur le tremplin ou torsion de la planche) favorise le déclenchement; elle permet aussi d'augmenter la résistance de la neige et d'assurer que le rider ait une meilleure expression lors du déclenchement. Cependant, un rider expérimenté n'utilisera la carre que dans les proportions requises par son spin.

Exercices pour l'apprentissage des mouvements:

- valse avec les bras près du corps/loin du corps
- le même exercice, mais avec un spin
- déclenchement d'un spin par une ligne en S ou une torsion



Exemples pratiques

Objectif: la biomécanique doit être vécue au moyen d'exercices sur la neige. Les forces ou les combinaisons de forces mentionnées ci-dessous sont accompagnées d'exemples qui permettent de mieux les comprendre.

Force de déclivité \vec{D}

- faire rouler une grosse balle (ou boule de neige) sur la piste. => Pourquoi roule-t-elle?
- descendre dans la ligne de pente sur des terrains à inclinaisons différentes. => Quel est le rythme?
- exercices avec un partenaire, à l'aide de bâtons/piquets: le premier glisse tout droit dans la ligne de pente, le second doit freiner en dérapant latéralement/faisant un chasse-neige/réalisant des virages courts, etc.
- phase de conduite 1 avec longue descente dans la ligne de pente => Rythme?
- pendant la descente en traversée, poser l'engin à plat. => Pourquoi glisse-t-on vers l'aval?
- glisser en faisant un cercle (360°). => Que se passe-t-il dans le dernier quart?

Force d'inertie \vec{F}_i

- sortir de la piste et aller dans la poudreuse.
- sortir de la piste et aller dans la poudreuse avec sur la tête un objet qui n'est pas fixé. => Que se passe-t-il avec cet objet?
- sortir de la piste et aller dans la poudreuse les yeux fermés.
- en position raide, glisser dans les bosses et dépressions ? ou dans les bosses seulement. => Que se passe-t-il?
- saut => Commenter la trajectoire. => Voir paragraphe sur les sauts.

Force centrifuge \vec{F}_c

- à partir de la descente dans la ligne de pente, déclencher un virage vers l'amont. => Que ressent-on dans les jambes?
- à partir de la descente dans la ligne de pente, déclencher un virage vers l'amont, avec une corde lâche placée à la hanche. => Que se passe-t-il avec la corde?
- lors de virages courts ou larges, laisser traîner les bâtons => Comment oscillent-ils?
- exercices de carving avec partenaire:
 - la main dans la main
 - avec un élastique
 - avec un piquet
 => Comment les forces se comportent-elles?
- glisser main dans la main et lâcher les mains en phase de conduite 2. => Comment le skieur à l'intérieur du virage et le skieur à l'extérieur du virage poursuivent-ils leur descente?
- descendre le pipe/quarterpipe en virage sur des murs escarpés => Que ressent-on au niveau des talons?
- utiliser la topographie. => Quel est l'effet de la force centrifuge?
- valse à deux.

Résistance de l'air \vec{F}_r

- pendant la descente, ouvrir et fermer sa veste.
- à deux, l'un à côté de l'autre: l'un avec le corps ramassé, l'autre avec le corps en extension. => Qui est le plus rapide?
- descendre à l'abri du vent.



Bibliographie

Manuel «Ski Suisse '85» (partie IV, Principes biomécaniques de la technique du ski)

IMPRESSUM La pratique dans les sports de neige

ACADEMY est le supplément de la revue SWISS SNOWSPORTS (1/2006), publiée par l'association du même nom. ACADEMY est entièrement consacré à la pratique.

Rédaction: Matthias Plüss, Marlene Däpp

Auteurs et choix des images: Andri Poo, Renato Semadeni

Personnes ressources: Alex Stacoff (laboratoire de biomécanique de l'ETH Zurich), SWISS SNOW EDUCATION POOL

Groupe de travail Academy Matthias Plüss, Mauro Terribilini

Traduction: Agata Markovic

Correcteur: Pierre Pfefferlé

Photos: Mario Curti

Élaboration des images: Südostschweiz Print AG

Adresse de la rédaction: Rédaction SWISS SNOWSPORTS Hühnerhubelstr. 95, 3123 Belp E-mail: redac@snosports.ch

Graphisme et impression Südostschweiz Print AG Kasernenstr. 1, 7000 Chur Site Internet: www.suedostschweiz.ch

Changements d'adresse A communiquer directement à SWISS SNOWSPORTS, Hühnerhubelstr. 95, 3123 Belp, ou par e-mail, à info@snosports.ch

Prix Pour les membres de l'association SWISS SNOWSPORTS, compris dans la cotisation annuelle.

Droits de reproduction: Les articles et les photos publiés dans ACADEMY sont protégés par le droit d'auteur. Toute reproduction ou copie doit se faire avec l'accord préalable de la rédaction. La rédaction décline toute responsabilité pour les textes et les photos qui lui ont été envoyés sans son accord.

Tirage 14 000 exemplaires, 10 700 en allemand 3 300 en français