

LES ÉLÉMENTS FONDAMENTAUX DU SKI

***UNE PERSPECTIVE PHYSIQUE
ET BIOMÉCANIQUE***



Collaborateurs : Mark Sedgwick,
Jeffery Topp, BSc.
en physique appliquée (avec mention),
Dr. Edward D J Cambridge, Baccalauréat en kinésiologie,
Doctorat en chiropractie, niveau 4 de l'AMSC

Dernière mise à jour : Septembre 2023

Table des matières

Introduction	3
Liste de définitions	4
Chapitre 1 : Qu'est-ce qu'une force et quelle est son importance en ski ?	5
1.1 Forces	5
1.2 Vecteurs	5
1.3 Forces internes et externes	6
Chapitre 2 : Mouvement (mécanique newtonienne)	7
2.1 Les lois du mouvement de Newton – Les règles de base	7
Chapitre 3 : Forces et mouvements	9
3.1 Le centre de masse (CM)	9
3.2 Gravité	9
3.3 Friction	10
3.4 Momentum	11
3.5 Force de réaction du sol (Ground Reaction Force, GRF)	12
3.6 GRF : Une question d'équilibre	13
Chapitre 4 : Comprendre Les Composantes de la Grf	14
4.1 Résolution des forces, ses composantes et le centre de pression	14
4.2 Perpendiculaire : La force qui nous maintient à la surface de la neige	14
4.3 Forces de rotation : Centripète et centrifuge	15
4.4 La composante de ralentissement	19
4.5 GRF – La référence de l'équilibre - Proprioception	20
4.6 Équilibre statique	21
4.7 Équilibre dynamique	21
4.8 Stabilité	22
4.9 Contrôle de la pression avant-arrière : l'équilibre	22
4.10 Contrôle de la pression latérale : l'équilibre	24
4.11 L'inclinaison — Une analogie de l'équilibre	25
4.12 Tout assembler : la force, le CP et l'équilibre	27
Résumé des leçons à retenir	28
Chapitre 5 : Anatomie fonctionnelle et biomécanique	31
Introduction	31
Mouvement	31
Cadres de référence pour le mouvement	32
Plans de mouvement et axes de rotation	32
Effet mouvement de l'articulation sur le CM	36
Principes de biomécanique : Rigidité proximale pour la mobilité distale	36
Chaîne cinématique	37
Renseignements supplémentaires	39
Deuxième loi de Newton : $F=ma$	39
Momentum	39
Force centripète	40
Proprioception	40
Les forces d'inclinaison	41
Inclinaison - Angle d'inclinaison	43

Introduction

Les éléments fondamentaux du ski est le document de base des concepts techniques de l'AMSC. Il précède les documents Cadre de développement des habiletés et Skier-Concepts et Applications. Le document Les éléments fondamentaux du ski explique les lois du mouvement (physique) et les effets qu'elles ont sur nous (biomécanique) lorsque nous skions : ce sont les règles de base. Le cadre de développement des habiletés s'appuie sur ces règles de base et se penche sur les capacités de nos skis et la façon dont notre corps se déplace pour les déployer : les facteurs qui influencent notre mouvement. Enfin, le document Skier-Concepts et Applications aborde les concepts de ski nécessaires à l'obtention des résultats souhaités pour le skieur débutant jusqu'au skieur expert, et rassemble tous les éléments.

La pratique du ski alpin se caractérise par des variations infinies sur le plan du terrain et des conditions. Les skieurs utilisent leur équipement pour gérer leur vitesse et leur direction dans cet environnement sans cesse changeant. La compréhension de la physique du ski permet de clarifier les règles de ce qui doit se passer lorsque nos skis interagissent avec la neige, puis ce qui se passe lorsque la neige nous repousse avec une force de réaction — que nous appelons « force de réaction du sol » ou « GRF ».

Les règles de base se fondent sur la mécanique newtonienne (également appelée « mécanique classique »). En sachant ce qu'est le mouvement et les forces qui le contrôlent, nous réalisons que le ski est déterministe. Certaines forces produiront certains résultats – lien de cause à effet. Ainsi, un moniteur est capable à la fois de mettre au point des techniques appropriées et de prendre des décisions qui permettent aux étudiants d'utiliser avantageusement les forces d'interaction avec la neige pour faire face à une variété de situations. Ces connaissances garantissent également que le vocabulaire que nous utilisons dans notre organisation est exact et cohérent.

Dans le présent document, les forces sont analysées du point de vue de l'interface ski-neige, conformément à l'accent mis par l'Alliance des moniteurs de ski du Canada sur la *fonction plutôt que la forme*.



Les connaissances et la compréhension fondamentale du fonctionnement du ski présentées dans ce document technique ne sont pas nécessairement celles que nous enseignons à nos apprenants : elles sont plutôt une référence technique pour approfondir vos connaissances en tant que professionnels. À cette fin, il est prévu qu'une compréhension plus approfondie du mouvement, de l'anatomie et de la biomécanique en général favorisera une meilleure compréhension du ski. Ce document vous permettra de connaître les concepts intellectuels du fonctionnement du ski et d'acquérir la confiance nécessaire pour les enseigner. Ces connaissances sous-jacentes permettront de guider et d'influencer le contenu que vous enseignez. La *méthode* de votre enseignement, ou la façon dont vous le transmettez, réside dans le concept d'enseignement de l'AMSC intitulé l'approche collaborative d'enseignement (ACE).

Une fois que vous aurez compris le rôle de la force dans le contexte du ski, tout le reste aura beaucoup plus de sens.

LISTE DE DÉFINITIONS

Accélération — Le taux de changement de la vitesse par rapport au temps (unités = m/s^2).

Angulation du genou — L'angulation du genou, terme utilisé par les moniteurs de ski, peut sembler être un valgus, où le genou est vers l'intérieur et où la partie inférieure de la jambe est vers l'extérieur. En réalité, il s'agit d'une illusion causée par la rotation interne de la jambe avec un genou en flexion.

CP — Le centre de pression (ou centre de poussée) est le point central d'un corps où l'application d'une seule pression résume l'ensemble des pressions appliquées sur l'entièreté de ce même corps. Il s'apparente au centre de gravité où l'effet de la gravité de tous les éléments d'un objet se résume par l'effet de la gravité appliquée sur un seul point qui est le centre de gravité.

Diagramme de corps libre — Représentations simplifiées de l'amplitude et de la direction relatives de toutes les forces agissant sur un objet dans une situation donnée. Elles sont utilisées dans la résolution de problèmes mécaniques car elles permettent de visualiser toutes les forces agissant sur un seul objet.

Force — Force ou énergie exercée (une poussée ou une traction) sur un objet (unités = N [Newton]).

Force nette — La somme de toutes les forces qui agissent sur un objet. La force nette est la force unique qui représente l'effet de toutes les forces agissant sur un objet.

Impulsion — Une force agissant pendant un certain temps sur un corps et produisant un changement fini de la quantité de mouvements. Formule mathématique : la force \times le temps (unités = Ns)

Inertie — Propriété de la matière qui lui permet de rester dans son état actuel de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite, à moins que cet état ne soit modifié par une force extérieure

Ligne d'action — La ligne d'action d'une force est une représentation géométrique de comment la force est appliquée sur un corps. Il s'agit d'une ligne passant par le point où la force est appliquée qui pointe dans la même direction que la force. Ce concept est essentiel pour comprendre l'effet net de plusieurs forces appliquées à un corps. Par exemple, la force de réaction du sol est la somme (effet net) des forces de la neige qui poussent sur le skieur.

Momentum (quantité de mouvements) — La quantité de mouvements d'un corps qui se déplace. Formule mathématique : la masse \times la vitesse (unités = $kg\ m/s$).

Poids — La force avec laquelle un corps est attiré vers la terre (unités = kg)

Pression — Une mesure de la force par unité de surface (unités = le pascal [Pa], qui est équivalent à N/m^2).

Valgus — Un membre ou un segment de membre qui est dévié vers l'extérieur. Par exemple, une personne qui a les genoux collés lorsqu'elle se tient debout.

Varus — Un membre ou un segment de membre qui est dévié vers l'intérieur. Par exemple une personne avec les jambes arquées.

Vecteur — Une quantité ayant une direction ainsi qu'une amplitude, généralement représentée par une flèche, dont la longueur représente l'amplitude et dont l'orientation dans l'espace représente la direction (unités = unités de la quantité qu'il décrit).

Vélocité — Un vecteur ayant comme amplitude la vitesse auquel on ajoute une direction (unités = m/s avec une direction).

Vitesse — Le rythme auquel un objet se déplace (unités = m/s).

Vitesse vs vélocité — La vitesse est le rythme auquel un objet se déplace, tandis que la vélocité est le rythme et la direction du déplacement d'un objet. En d'autres termes, la vitesse est le rythme auquel le skieur se déplace, mais la vélocité est relative à la direction - nous pouvons donc considérer la vitesse à laquelle le skieur se déplace du haut de la montagne vers le bas. La vélocité ne tient pas compte des vitesses de virage.



Le symbole du cerveau indique une analyse technique plus poussée sur le sujet en question. Lorsque vous le voyez, consultez la section « Renseignements supplémentaires » en page 39 pour en savoir plus.

CHAPITRE 1 : Qu'est-ce qu'une force et quelle est son importance en ski ?

1.1 Forces

Skier est un mouvement et le mouvement est causé par une force. Un objet stationnaire ne bouge pas à moins qu'une force (**une poussée ou une traction**) n'agisse sur celui-ci pour le mettre en mouvement. Une fois en mouvement, il se déplace à la même vitesse et dans la même direction, à moins qu'une autre force ne le fasse accélérer, changer de direction, ralentir ou s'arrêter.

Lorsque nous skions, nous sommes entraînés vers le bas de la pente par la force de la gravité, en raison de la faible friction entre la neige et la base de nos skis. Sans apport de forces supplémentaires, nous nous nous déplacerions simplement vers le bas en direction de la ligne de pente. Les forces de rotation et de ralentissement sont nécessaires pour contrôler notre vitesse et notre direction.

Toute interaction entre deux objets — dans ce cas-ci, le ski et la neige — exerce une force qui agit sur chacun des objets. Ce sont ces forces qui font en sorte que le ski tourne ou ne tourne pas, accélère, ralentit ou maintient sa vitesse. Ces forces sont également responsables de l'exaltation ou du pressentiment de malheur imminent que nous ressentons sur la piste. Certaines forces, comme la gravité, ne peuvent pas être contrôlées, contrairement à d'autres. Grâce à une connaissance raisonnable de ces forces et des mouvements nécessaires pour les gérer, nous pouvons influencer le résultat de l'interaction entre les skis et la neige ainsi que notre trajectoire vers le bas de la pente.

Leçons à retenir :

1. Skier est un mouvement.
2. Il ne peut y avoir de mouvement sans force.
3. Une force est une poussée ou une traction sur un objet, résultant de l'interaction entre cet objet et un autre objet (ski et neige).
4. La force de gravité nous entraîne vers le bas de la pente.
5. D'autres forces facilitent le contrôle de la vitesse et de la direction.

1.2 Vecteurs

Un vecteur est composé d'une amplitude et d'une direction. Les forces sont des vecteurs et par le fait même, elles ont une amplitude ainsi qu'une direction. Il est important de comprendre cette caractéristique d'une force dans la mesure où le concept de vecteur entre souvent en jeu en ski. Géométriquement nous pouvons représenter un vecteur comme une flèche, dont la longueur représente l'amplitude du vecteur et dont la pointe indique sa direction. La force est un exemple de vecteur, et sera abordée dans cette section. Un autre exemple de vecteur est la vitesse, qui est également influencée par l'amplitude et la direction. La vitesse est souvent utilisée à tort comme synonyme de « vitesse », alors que cette dernière comporte seulement une composante d'amplitude et aucune composante de direction.

En physique, l'accélération comporte une composante de vitesse, mais aussi une composante directionnelle. Par conséquent, il s'agit également d'un vecteur. Un objet accélère s'il change de direction, même s'il reste à une vitesse constante. Par exemple, un objet décrivant un cercle à une vitesse constante accélère vers le centre du cercle. Si un corps change de direction, il accélère.

Exemple 1 : Un skieur ou une skieuse qui fait un virage coupé à vitesse constante accélère — sa direction change!

Exemple 2 : Un virage coupé est un exemple de changement de direction, qui ne s'accompagne pas forcément d'un changement d'amplitude (vitesse).

Les forces sont des vecteurs et les vecteurs sont cumulatifs; par conséquent, les forces sont cumulatives. Les forces s'additionnent sous forme de lignes, en tenant compte de la longueur et de l'angle (direction). Les concepts d'accumulation et de combinaison des forces sont complémentaires. Lorsque deux forces agissent dans la même direction, elles s'additionnent. Lorsque des forces agissent dans des directions opposées, elles sont combinées, puisque la force la plus faible est soustraite de la plus grande. Lorsque l'amplitude et la direction de toutes les forces sont combinées, elles produisent une force résultante. Nous utilisons un diagramme de corps libre pour montrer l'amplitude et la direction relatives de toutes les forces agissant sur un objet dans une situation donnée.

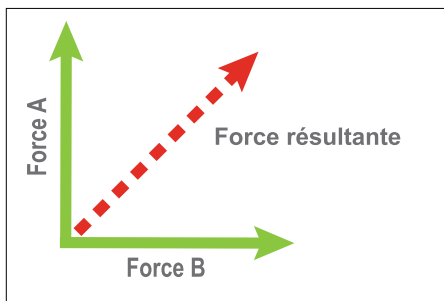
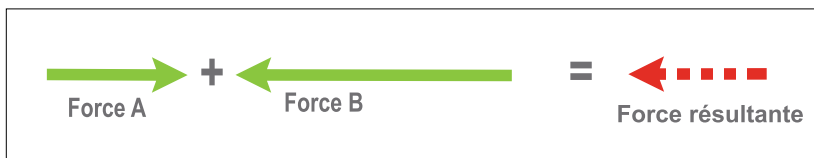
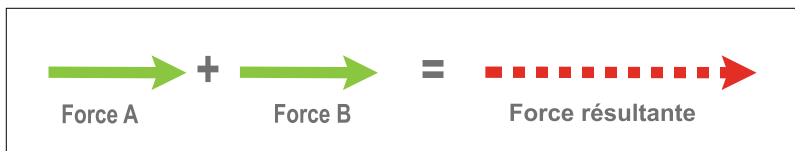


Figure 1 : Diagrammes de corps libres — additionner et soustraire des vecteurs et créer des résultantes.

Leçons à retenir :

1. Les forces ont deux propriétés essentielles : l'amplitude et la direction.
2. En physique, l'accélération comporte une composante de vitesse, mais aussi une composante directionnelle.
3. Un objet accélère s'il change de direction, même s'il reste à une vitesse constante.
4. Si un corps change de direction, il accélère.
5. Les forces sont cumulatives.

1.3 Forces internes et externes

Les forces en jeu dans la pratique du ski peuvent être divisées en deux catégories : internes et externes. Les forces internes sont générées par les muscles du skieur. Nous pouvons utiliser ces forces pour influencer le mouvement de notre corps et finalement du ski.

Exemple : La rotation interne et externe de la jambe ainsi que la flexion et l'extension sont des exemples de forces internes. La rotation de la jambe aide aux manœuvres de contrôle de la rotation du ski, et la flexion et l'extension aident aux manœuvres de contrôle de la pression du ski.

Les forces externes agissent sur le skieur depuis l'extérieur du corps. Ces forces agissent sur le skieur et sont à la base de ses déplacements.

Exemple : La force de gravité et la friction entre la neige et les skis sont des exemples de forces externes.

Leçons à retenir :

1. Les forces en jeu dans la pratique du ski peuvent être divisées en deux catégories : internes et externes.
2. Les forces internes sont générées par les muscles du skieur. Nous pouvons utiliser ces forces pour influencer nos mouvements.
3. Les forces externes agissent sur le skieur depuis l'extérieur du corps. Ces forces sont à la base des déplacements du skieur.

CHAPITRE 2 : Mouvement (mécanique newtonienne)

2.1 Les lois du mouvement de Newton — Les règles de base

Les règles du ski ne sont pas déterminées par les différentes organisations de ski, elles sont régies par les lois universelles du mouvement, comme tout objet interagissant avec tout autre objet sur notre planète. Sir Isaac Newton a élégamment défini les lois du mouvement il y a bien plus de 300 ans. Ces lois déterminent les règles de base du ski — c'est un fait.

Les trois lois du mouvement formulées par Newton sont à la base de la mécanique classique. Elles décrivent la relation entre un corps et les forces qui agissent sur celui-ci, et le mouvement en réaction à ces forces. Les lois qui définissent l'orbite de la Terre autour du soleil sont les mêmes que celles qui régissent notre mouvement en ski.

Les règles de base :

La première loi de Newton stipule qu'un corps immobile reste immobile et qu'un corps en mouvement reste en mouvement à moins qu'une force externe non équilibrée n'agisse sur celui-ci. Avec cette loi, sir Isaac Newton tente de définir ce que nous appelons communément « inertie ». L'inertie peut également être décrite comme une force qui fait en sorte que les objets immobiles restent immobiles et que les objets en mouvement se déplacent à une vitesse constante.

Si nous skions à une vitesse constante en ligne droite, cette condition sera maintenue à moins que d'autres forces ne soient exercées. Les différentes forces qui agissent sur nous, comme la gravité (une constante sur Terre) ainsi que celles que nous générons (et que nous pouvons maîtriser en utilisant nos muscles et notre équipement), sont déterminantes dans notre mouvement.

La deuxième loi de Newton, parfois appelée loi de la force et de l'accélération, stipule que la force est égale au produit de la masse et de l'accélération ($F = ma$). Les forces évoquées dans la première loi de Newton sont régies par cette formule. Si une force nette agit sur un corps, celui-ci accélère conformément à l'équation. Inversement, si un corps ne présente aucune accélération, aucune force nette n'agit sur celui-ci. En termes simples, l'ampleur du mouvement d'un objet est proportionnelle à la force qui agit sur celui-ci.

La deuxième loi de Newton nous permet de réguler les forces qui agissent sur nous. En manipulant nos skis sur la neige, nous pouvons gérer ces forces et donc contrôler notre mouvement pour atteindre nos objectifs.

Exemple : Un skieur participant à la Coupe du monde de ski et un skieur récréatif s'efforcent tous les deux de contrôler leur accélération (vitesse et direction); cependant, l'intensité des forces que chacun doit maîtriser est très différente en fonction de leur objectif. L'objectif du skieur de compétition est de terminer son parcours le plus rapidement possible, alors que le skieur récréatif est davantage en quête d'une descente amusante. Les deux cherchent à contrôler leur direction. Les forces devant être maîtrisées augmentent ou diminuent au rythme de la vitesse. Ce concept est examiné plus en détail dans les sections suivantes.



Renseignements supplémentaires (1)

Enfin, la troisième loi de Newton stipule qu'en réponse à toute action, une réaction égale et opposée se produit. Autrement dit, lorsque vous poussez sur un objet, celui-ci exerce une pression aussi forte sur vous.

$F_A = -F_B$. Lorsque les skieurs utilisent leurs muscles ou leur équipement pour pousser sur la neige, la neige les repousse!

Pour la plupart des gens, il est logique qu'une personne doit exercer une force ascendante avec ses mains lorsqu'elle porte un sac de sable lourd, comme le montre la figure 2 ci-dessous.

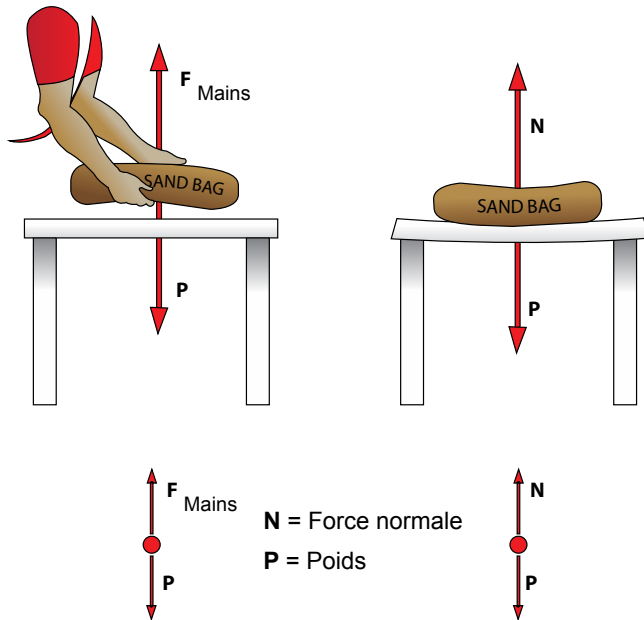


Figure 2 : Représentation du diagramme de corps libre illustrant la force normale d'un sac de sable apposé sur une table.

Maintenant, si nous plaçons ce sac de sable sur une table, la table exerce-t-elle la même force que nous avons utilisée pour soutenir le sac de sable? Une table peut-elle vraiment exercer une force ascendante sur le sac de sable et, par extension, la neige peut-elle vraiment exercer une force sur nous? Peut-être que la table du schéma (b) ci-dessus ne fait qu'empêcher le sac de sable de tomber.

Or, ce n'est pas le cas. Si seule la force de gravité exerçait son action vers le bas sur le sac de sable, celui-ci accélérerait vers le bas. Rappelons-nous la deuxième loi de Newton : $F = ma$, ou réarrangée, $a = F/m$.

Par exemple, l'accélération est proportionnelle à la force appliquée. Par conséquent, la table doit exercer une force vers le haut pour empêcher le sac de sable de tomber sur le sol. Nous appelons cette force ascendante « force normale (N) », comme nous l'avons décrite précédemment.

En physique, la force normale est la force qu'une surface exerce pour empêcher les objets solides de passer les uns à travers les autres. Cette force est toujours perpendiculaire aux surfaces en contact.

Leçons à retenir :

1. Les lois du mouvement régissent les lois du ski. Les lois de Newton définissent les règles du mouvement.
2. La première loi de Newton nous permet de définir l'inertie, une force qui fait en sorte que les objets immobiles restent immobiles et que les objets en mouvement se déplacent à une vitesse constante.
3. La deuxième loi de Newton stipule que l'ampleur du mouvement d'un objet est proportionnelle à la force qui agit sur celui-ci. En manipulant nos skis sur la neige, nous pouvons gérer les forces agissant sur nous et donc contrôler notre mouvement pour atteindre nos objectifs.
4. Lorsque les skieurs utilisent leurs muscles ou leur équipement pour pousser sur la neige, la troisième loi de Newton affirme que la neige les repousse! Alors oui, la neige exerce réellement une pression sur nous!

CHAPITRE 3 : Forces et mouvements

Dans ce chapitre, nous allons nous familiariser avec les principales forces et les grands concepts du ski.

En plus de nous retenir sur la planète, la gravité est la force qui nous propulse en ski. Lorsque nous sommes en mouvement, nous avons une quantité de mouvements (momentum). Nous pouvons manipuler cette quantité de mouvements à notre avantage (contrôle des virages et de la vitesse) grâce à nos skis.

3.1 Le centre de masse (CM)

Le centre de masse est un point précis du corps où l'on considère que la masse du skieur et de l'équipement est concentrée à la même place. Il est généralement situé juste en dessous du nombril, mais se déplace lorsque nous changeons la position de notre corps. Il existe des différences anthropométriques entre les hommes et les femmes. Les hommes ont, d'une façon générale, plus de masse dans la partie supérieure du corps par rapport aux femmes. En conséquence, le centre de masse des hommes est plus haut que celui des femmes.



Figure 3 : Un skieur dont le centre de masse (CM) est représenté par l'image d'une cible et la BS par une ligne noire.

3.2 Gravité

Sur une pente, la gravité présente deux composantes : une composante qui nous entraîne dans une direction perpendiculaire à la surface de la neige (la composante qui nous retient au sol) et une composante qui nous entraîne vers le bas de la pente. La force relative de ces deux composantes varie en fonction de l'inclinaison de la pente. Sur une pente escarpée, la traction vers le bas de la pente est plus forte que celle vers la neige. Sur une pente plus plate, la traction vers le bas de la pente est plus faible que celle vers la neige.

Dans la figure ci-dessous, « G » représente la ligne de gravité. Cette ligne pointe vers le centre de la Terre. « G perpendiculaire » représente la composante de la gravité perpendiculaire à la surface de la neige et « G parallèle » représente la composante de la gravité parallèle à la pente.



Figure 4 : Représentation visuelle de la force de gravité décomposée en ses composantes dans le cadre de référence du corps.

3.3 Friction

La friction s'oppose toujours au mouvement et sert à nous ralentir. Les deux éléments importants en ski sont la friction entre la base du ski et la neige et la friction de l'air (résistance de l'air) qui pousse contre le corps du skieur. La friction de la neige change rapidement en fonction de la texture de la neige, de sa profondeur et des profils du relief. La friction de la neige est plus importante dans les virages dérapés que dans les virages coupés. Un bon entretien des skis permet également de réduire la friction de la neige. L'effet de la friction de l'air est influencé par le vent — elle augmente en présence d'un vent de face et diminue en présence d'un vent arrière. En réduisant la surface de contact direct avec le vent, par exemple en se plaçant en position fléchie, on réduit la friction de l'air.



Figure 5 : Les composantes des forces de la friction de la neige et de l'air (F_{Neige} et F_{Air}).

Leçons à retenir :

1. Le centre de masse est un point précis du corps où l'on considère que la masse du skieur et de l'équipement est concentrée.
2. La gravité est la force principale qui confère un momentum aux skieurs.
3. La gravité agit en deux composantes : une composante qui nous entraîne dans une direction perpendiculaire à la surface de la neige et une composante qui tire le CM vers le bas de la pente.
4. La friction nous ralentit. Nous expérimentons deux types de friction : la friction entre le ski et la neige et la friction de l'air qui pousse contre le corps du skieur.

3.4 Momentum

Le momentum est un concept particulièrement précieux pour nous dans le monde du ski. Nous pouvons utiliser le concept de momentum pour prédire et comprendre le résultat des interactions entre la neige et nos skis.

Le momentum définit l'ampleur du mouvement d'un objet, défini par Newton comme la "quantité de mouvement". Le momentum définit la **masse et la vitesse** d'un objet (une masse qui est en mouvement). Le momentum peut être exprimé comme le produit de la masse et de la vitesse. Un objet qui est en mouvement a un momentum; plus un objet est en mouvement, plus son momentum est élevé!

La force et le momentum sont des amis proches. Ils sont tous deux définis par l'amplitude et la direction. Si nous sommes en mouvement en skiant, nous produisons un momentum et, comme le stipule la première loi de Newton, une force externe sera nécessaire pour changer notre mouvement. Dans ce cas, la force externe est la neige qui repousse nos skis. En tant qu'êtres humains, nous ressentons les changements de vitesse et de direction (c'est-à-dire un changement de vitesse), et donc les changements de notre momentum.

Par conséquent, grâce aux changements de vitesse que nous provoquons par l'interaction de nos skis avec la neige (en faisant des manœuvres de rotation, de carre et de pression), nous pouvons manipuler notre momentum et donc les forces qui agissent sur nous, c'est-à-dire la façon dont la neige exerce une pression sur nous!

Vous vous demandez peut-être quelle est cette force importante que nous extrayons de la neige? Nous y reviendrons dans la section suivante.

L'impulsion — un autre terme que nous entendons fréquemment et que nous utilisons souvent de manière incorrecte — est intrinsèquement liée à la discussion ci-dessus sur la force et le momentum. L'impulsion est simplement un changement de momentum. Ou, en d'autres termes, une force appliquée sur une période précise.



Renseignements supplémentaires (2)

Leçons à retenir :

1. Le momentum définit combien de mouvement a un objet (la quantité de mouvements).
2. Deux variables déterminent le momentum d'un objet, à savoir la masse et la vitesse.
3. Le momentum d'un objet n'augmente ou ne diminue que lorsqu'une force nette agit sur lui.
4. Sur les skis, nous manipulons notre momentum par l'interaction de nos skis avec la neige (en faisant des manœuvres de contrôle de la rotation, des carres et de la pression) et nous contrôlons donc la façon dont la neige exerce une pression sur nous!

3.5 Force de réaction du sol (Ground Reaction Force, GRF)

Vous vous rappelez peut-être la troisième loi de Newton, selon laquelle pour chaque action, il y a une réaction de force égale, mais en sens opposé. Ainsi, **lorsque nous poussons sur la neige, la neige nous repousse avec une force de réaction**, tout comme la table a repoussé le sac de sable avec la force normale N dans la figure 2 ci-dessus. Nous appelons cette force que la neige exerce sur nous « force de réaction du sol » ou « GRF ». La GRF est la force qui donne la sensation de poids ou de pression entre vos skis et la neige. Elle change constamment en raison des variations du terrain, de l'interaction entre les skis et la neige et de notre position dans un virage.

La GRF est la force externe de la neige qui repousse nos skis. Elle peut être simplifiée de sorte à représenter la trajectoire exacte et l'amplitude de la pression que la neige exerce sur nous. C'est la force externe nécessaire pour gérer notre vitesse et notre direction. Si vous vous dites que c'est important, vous avez tout à fait raison. Il s'agit du concept le plus pertinent de cet ouvrage et il est donc le point sur lequel nous nous concentrerons dans le reste du document.

La plupart des gens considèrent que le contrôle de la vitesse et de la direction et le fait de rester debout (en ayant du plaisir) constituent les principaux objectifs du ski. Cela dit, la force externe que nous appelons « GRF » est d'une importance indispensable à la fois pour votre compréhension fondamentale du ski et comme mécanisme pour en déduire les résultats de la technique. Du point de vue d'un professionnel du ski, cela devrait être une révélation libératrice.

La compétence en matière de ski réside dans la capacité à gérer la GRF. En manipulant l'interaction des skis avec la neige, nous faisons en sorte que la neige nous pousse de la bonne manière pour obtenir le résultat souhaité. La GRF est la force qui permet de maîtriser la direction et la vitesse; elle nous permet d'aller à l'endroit et à la vitesse que nous voulons. C'est la force qui nous permet de faire des virages.

Tout comme la trajectoire d'une rondelle de hockey est contrôlée par l'application d'une force à l'aide d'un bâton, la trajectoire d'un skieur est contrôlée par la GRF agissant sur nos skis. C'est à nous d'utiliser les skis pour manipuler la GRF afin d'atteindre le résultat souhaité !

Alors oui, la neige exerce une pression sur nous. Dans sa forme la plus simple, le ski consiste simplement à contrôler l'amplitude et la direction de la force que la neige exerce sur nous et la façon dont nous positionnons notre corps pour qu'il s'équilibre contre cette pression. C'est la troisième loi de Newton, la loi de la réaction!

Comme le montre la figure 6, la neige poussant sur les skis fait tourner le skieur.



Figure 6 : La force de la neige (GRF) qui exerce une pression contre le dessous du ski fait tourner le ski.

Leçons à retenir :

1. Oui, la neige exerce réellement une pression sur nous.
2. La GRF est la réaction de la neige à la force que nous y appliquons.
3. La GRF peut être simplifiée de sorte à représenter la trajectoire exacte de la pression que la neige exerce sur nous.
4. La GRF est la force qui permet de contrôler la direction et la vitesse. C'est la force qui nous permet de faire des virages.
5. En manipulant la GRF, nous faisons en sorte que la neige nous pousse de la bonne manière pour obtenir le résultat souhaité.
6. Nous contrôlons la GRF par l'interaction de nos skis avec la neige.
7. La gravité est la force principale qui nous déplace. Le mouvement engendre le momentum et nous gérons notre momentum (vitesse et direction) en manipulant la GRF.

3.6 GRF : Une question d'équilibre

L'interface entre la base de nos skis et la neige est très glissante. La faible friction qui caractérise cette interaction facilite la pratique du ski, mais elle crée aussi une situation à laquelle nous ne sommes pas habitués dans la vie de tous les jours, celle où la friction à notre base de support (BS) est considérablement réduite. Rares sont les occasions où nous devons être en équilibre sur un objet en mouvement; le ski est l'une des expériences qui procurent cette sensation. Heureusement, l'équilibre chez l'humain, un système complexe de capteurs et de mécanismes de traitement, est bien adapté pour réaliser une activité aussi difficile.

En termes simples, l'équilibre est le résultat d'une relation favorable entre la base de support et le centre de masse. Lorsque les forces agissant sur notre centre de masse passent par notre base de support, nous nous sentons stables. L'équilibre dynamique est lorsque le corps est en état de mouvement - le ski peut être considéré comme un mouvement en déplacement ! Une définition complète de l'équilibre statique et dynamique est présentée dans la section suivante.

À tout moment, la force de réaction du sol peut être simplifiée en une trajectoire singulière, et c'est cette trajectoire singulière poussée par la neige qui définit un état d'équilibre lorsque notre CM est positionné le long de celle-ci. Fondamentalement, nous nous appuyons contre la GRF pour rester en équilibre.

Normalement, nous associons l'équilibre seulement à la gravité, ou à la ligne de gravité. Cependant, ce n'est pas le cas en ski, où la pression exercée par la neige (force de réaction du sol) ne doit pas être confondue avec la ligne de gravité. Ces deux concepts sont différents et sont rarement alignés. En ski, notre référence de l'équilibre est la GRF et non la gravité seulement.

Le concept exprimé dans le paragraphe ci-dessus ne semble pas intuitif, mais il est d'une importance fondamentale. Prenez le temps d'y réfléchir et de le comprendre.

Les figures 7 et 8 à la page 15 illustrent ce concept.

Leçons à retenir :

1. La GRF peut être simplifiée en une trajectoire singulière.
2. La trajectoire de la GRF représente la référence de l'équilibre et de la stabilité.
3. L'équilibre en ski est un processus dynamique parce que nous nous déplaçons en mouvement.
4. Un skieur aligne son CM avec la GRF et non avec la gravité seulement.
5. Fondamentalement, la force de réaction du sol (GRF) est ce contre quoi nous nous équilibrons.

CHAPITRE 4 : COMPRENDRE LES COMPOSANTES DE LA GRF

4.1 Résolution des forces, ses composantes et le centre de pression

Après avoir vu ensemble la théorie sur les vecteurs, nous savons que les forces peuvent être combinées. De la même manière, nous pouvons décomposer une force unique en plusieurs forces. La GRF est une combinaison de nombreuses forces. Examinons en détail la GRF en abordant chacune de ses composantes et l'effet qu'elles ont sur nos skis, et donc sur nous.

À tout moment, la GRF peut être simplifiée en une trajectoire exacte renvoyée par la neige. Nous appelons cette représentation de la force géométrique nette la ligne d'action (également appelée ligne d'application). La ligne d'action agit à un endroit spécifique et nous appelons cet endroit le point d'application.

À tout moment du virage, la force exercée par la neige peut être représentée par une seule ligne d'action, qui agit à un seul point d'application. La force que le skieur exerce sur la neige est égale et opposée à cette ligne d'action, et le centre de pression (CP) du skieur est égal et opposé au point d'application. Le CP est la somme de la distribution de la force sous les skis et toute autre partie en contact avec la neige (un bâton ou même une main).

La trajectoire exacte (ligne d'action) de la GRF est déterminée par de nombreuses forces, dont une composante perpendiculaire, une composante centripète et, la plupart du temps, une composante de ralentissement. La composante perpendiculaire s'oppose à la gravité et nous maintient à la surface de la planète, ou de la neige dans notre cas. La composante centripète est responsable de notre rotation, et une résolution plus poussée de la composante de rotation expose une composante de ralentissement qui, eh bien, nous ralentit.

Leçons à retenir :

1. La GRF est composée de nombreuses forces.
2. Une composante nous maintient à la surface de la neige, une composante nous fait tourner, et une autre encore nous ralentit.

Examinons chacune de ces trois composantes et la façon dont elles fonctionnent ensemble.

4.2 Perpendiculaire : La force qui nous maintient à la surface de la neige

Nous considérons comme acquis le fait de rester à la surface de la planète, et nous nous attendons à y rester. Cependant, une force en est responsable; une force de réaction qui s'oppose à notre poids, communément appelée « force normale ».

Rappelez-vous la figure 2, l'exemple de la force normale où la table repousse le sac de sable. Transposons cet exemple dans le cas d'un skieur sur neige sur un terrain parfaitement plat. Le skieur applique une force sur la neige (son poids) et la neige applique une force égale mais opposée sur ses skis. Si aucune autre force n'est introduite, il reste droit et stationnaire. La force normale est la composante perpendiculaire de la GRF qui maintient le skieur à la surface de la neige.

En général, la surface de la neige est compactée au point qu'elle nous retient à la surface, ceci est certainement vrai pour toutes les surfaces travaillées. Cependant, il arrive que des conditions particulières (comme de la neige fraîche) nous permettent de nous enfoncer dans la neige jusqu'à un certain point. Nous nous enfonçons jusqu'à ce que la neige soit compactée au point de repousser une force égale à celle que nous lui appliquons.

Ajoutons un peu de dynamisme à notre exemple en plaçant le même skieur sur une pente et sur une ligne droite. En raison de la quasi-absence de friction entre la neige et la surface de glisse (base) du ski, la force de réaction de la neige exerce une poussée perpendiculaire à la surface de la neige ou à la base de vos skis, selon votre vision de la chose (figure 8). Cette dernière affirmation est un détail important, car pour rester en équilibre, la trajectoire de la force de réaction de la neige doit passer par nos pieds et notre centre de masse (CM). Un exemple concret de ce phénomène est que les apprenants tombent souvent vers l'arrière lors de leur première tentative de descente en ligne droite ou lorsqu'ils descendent d'un télésiège pour la première fois.

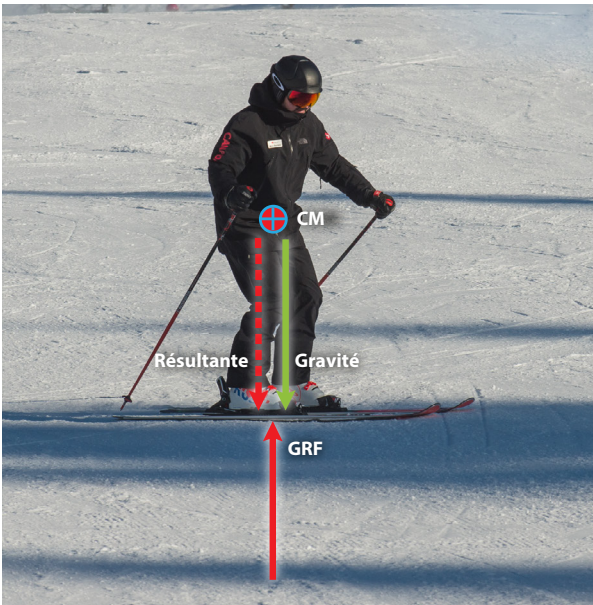


Figure 7 : La GRF et la gravité sont alignées.



Figure 8 : La GRF et la gravité ne sont pas alignées.

Leçons à retenir :

1. Une composante perpendiculaire de la GRF, appelée « force normale », résiste à notre poids et nous maintient à la surface de la neige.
2. Nous nous enfonçons dans la neige molle jusqu'à ce que celle-ci soit compactée au point de repousser une force égale à celle que nous lui appliquons.

4.3 Forces de rotation : Centripète et centrifuge

En continuant avec notre exemple ci-dessus, le skieur sur une piste droite aura besoin de nouvelles forces externes avant que tout changement de direction soit possible.

La composante de la GRF responsable de la rotation est classée comme une force centripète. Pour créer cette force, les skis doivent être placés à un certain angle par rapport à la trajectoire (dans la direction de notre momentum). La manière avec laquelle nous plaçons le ski en travers de la ligne de déplacement est directement liée à l'angle auquel la GRF nous pousse. L'angle sous lequel nous plaçons les skis par rapport à notre ligne de déplacement est appelé « angle de conduite ».

La force centripète est une catégorie de forces qui cherchent à se déplacer vers le centre alors que les objets décrivent un cercle. (Lorsqu'un objet se déplace sur une courbe ou sur un arc de cercle, la force centripète est la force qui attire l'objet vers le centre de la courbe).

On trouve des exemples de forces centripètes tout autour de nous : la terre en orbite autour du soleil (causée par l'attraction gravitationnelle du soleil), une balle que l'on fait tourner sur une corde (causée par la tension dans la corde), une voiture qui tourne un coin de rue (causée par le frottement des pneus) et un bobsleigh effectuant un virage (causée par l'inclinaison de la piste). La force centripète de la neige, une force de réaction causée par la pression qu'exerce le skieur sur la neige qui le pousse vers le centre du virage, est responsable de notre virage.

La force centrifuge est une catégorie de force qui représente une force fictive fuyant le centre, c'est-à-dire la force que nous ressentons et que l'on appelle souvent la réaction égale et opposée à la force centripète. Si nous prenons un virage en voiture ou à vélo, ou si nous effectuons un virage en ski, nous sentons que nous sommes poussés vers l'extérieur du virage. Cette force apparente ou *fictive* agissant vers l'extérieur sur un corps se déplaçant autour d'un centre est appelée « force centrifuge » (fuyant le centre). En ski, elle résulte de l'inertie de notre corps, ou de la tendance à résister à tout changement dans son état de mouvement (rappelons la première loi de Newton).

La force centrifuge que nous ressentons est une réaction à la force centripète. De notre point de vue (ou en nous basant sur notre cadre de référence), nous ressentons la force centrifuge et la rendons pertinente et réelle. Cependant, du point de vue d'un observateur extérieur (ou en se basant sur son cadre de référence), la force centrifuge est inexistante, et seule la force centripète agit sur le ski en le faisant tourner, puis, à son tour, fait tourner le skieur.

Il y a un aspect contre-intuitif à aborder concernant la relation entre la force centripète et la force centrifuge. Si la force centripète est supprimée, l'objet se déplacera immédiatement de manière tangentielle par rapport à la trajectoire du cercle autour duquel il se déplaçait (la trajectoire de l'inertie). L'objet ne serait pas éjecté du centre, contrairement à ce que la force centrifuge nous ferait croire ou *ressentir*. À l'instant où il n'y a plus de force centripète, la force centrifuge disparaît. En ce sens, les lois de Newton nous remettent dans le droit chemin (sans mauvais jeu de mots). Le sens de la trajectoire d'un corps est une ligne droite jusqu'à ce qu'une nouvelle force agisse sur ce dernier.

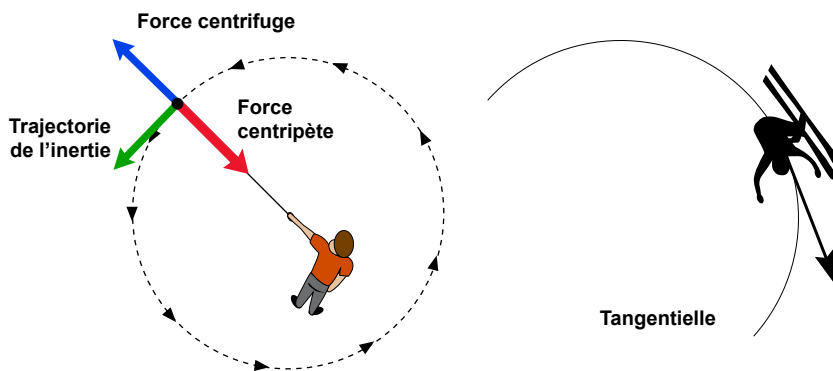


Figure 9a et 9b: Centripète, centrifuge et tangentielle.

À partir de la deuxième loi de Newton, voici une formule de la force centripète que nous pouvons examiner afin de révéler des faits intéressants :

Force centripète = masse × vitesse au carré / rayon

La seule façon de modifier la force centripète (force de rotation) est de changer la vitesse ou le rayon; ce sont les deux seules variables — ou exécutions réellement disponibles.

L'équation ci-dessus suppose que nous ressentirions plus de forces en ski en augmentant la vitesse (relation quadratique) qu'en réduisant le rayon de notre virage (relation inverse). Allez faire du ski et jouez avec la vitesse et le rayon dans vos virages. Ressentez l'effet de chacun.

L'équation ci-dessus suppose également que nous ressentirions plus de forces avec une plus grande masse. Faites-en l'essai! Mettez quelque chose de lourd dans un sac à dos ou portez un gilet lesté et allez faire du ski. Faites l'expérience de l'augmentation des forces.

Sans manipuler la masse, comme dans l'exercice ci-dessus, nous n'avons que deux exécutions possibles à notre disposition pour modifier la force d'un virage : la vitesse ou le rayon!



Renseignements supplémentaires (3)

Leçons à retenir :

1. La composante de la GRF qui nous fait tourner est une force centripète.
2. La force centripète est une catégorie de forces qui cherchent à se déplacer vers le centre alors que les objets décrivent un cercle.
3. Pour tourner (créer la force centripète), nous devons placer le ski en travers de notre ligne de déplacement. L'angle¹ de conduite peut être faible, mais ne vous y trompez pas : il est nécessaire pour tourner.
4. La force centripète (une force qui cherche à se déplacer vers le centre) est une force réelle, tandis que la force centrifuge (une force qui cherche à fuir le centre et la force que nous ressentons réellement) est une force fictive. La force centrifuge est égale et opposée à la force centripète.
5. Si la force centripète est supprimée, l'objet se déplacera immédiatement de manière tangentielle par rapport à la trajectoire du cercle autour duquel il se déplaçait.
6. Nous ne disposons que de deux variables pour modifier la force d'un virage : la vitesse ou le rayon!
7. La relation entre la force centripète et le rayon de virage est inverse. Plus le rayon du virage est petit, plus la force centripète est grande. Si on réduit de moitié la taille du virage, la force centripète double.
8. Le facteur le plus important pour déterminer l'amplitude de la force centripète est la vitesse, étant donné la relation quadratique entre la vitesse et la force comme on le mentionne ci-dessus (c'est-à-dire que si nous skions deux fois plus vite, la force centripète quadruple).

Dans le graphique ci-dessous, nous représentons les forces dans un virage en ski, à la fois du point de vue de ce que nous ressentons, notre cadre de référence interne, et à travers un cadre de référence externe de ce qu'une personne extérieure observerait.



Figure 10a : Cadre de référence **INTERNE**. Ce que nous ressentons dans un virage.

Nous sentons une force centrifuge qui nous tire vers l'extérieur du virage et nous sentons aussi la gravité qui nous retient à la surface de la neige. Nous ressentons également la tension musculaire qui en résulte, principalement dans la jambe extérieure et la ceinture abdominale, qui nous maintient en position verticale et qui résiste aux forces centrifuges et gravitationnelles combinées. Enfin, nous ressentons une pression sous notre pied extérieur; c'est la neige qui nous repousse, à savoir la GRF.

La gravité agissant sur la masse du skieur se combine à la force centrifuge pour former une force résultante R agissant sur le skieur.

« R » représente la direction dans laquelle le skieur pousse sur la neige.

La GRF est la force de réaction produite par la neige en réponse à la R.

Le skieur s'équilibre contre la GRF.

¹L'angle formé entre l'axe longitudinal du ski et la ligne de déplacement du skieur (CM).



Figure 10b : Cadre de référence **EXTERNE**. Représentation des forces réelles.

GRF perpendiculaire — la réponse de la neige à notre poids (masse \times gravité). Il s'agit de la force qui nous maintient à la surface de la neige.

GRF de rotation — une force centripète qui pousse notre ski vers le centre du virage. C'est la force qui change notre direction, celle qui nous fait tourner. Cette force centripète est ce que nous ressentons comme une force centrifuge dans le diagramme 10a.

GRF — la trajectoire exacte de la réaction de la neige à notre poussée sur la neige. C'est la combinaison des deux forces ci-dessus (perpendiculaire et de rotation).

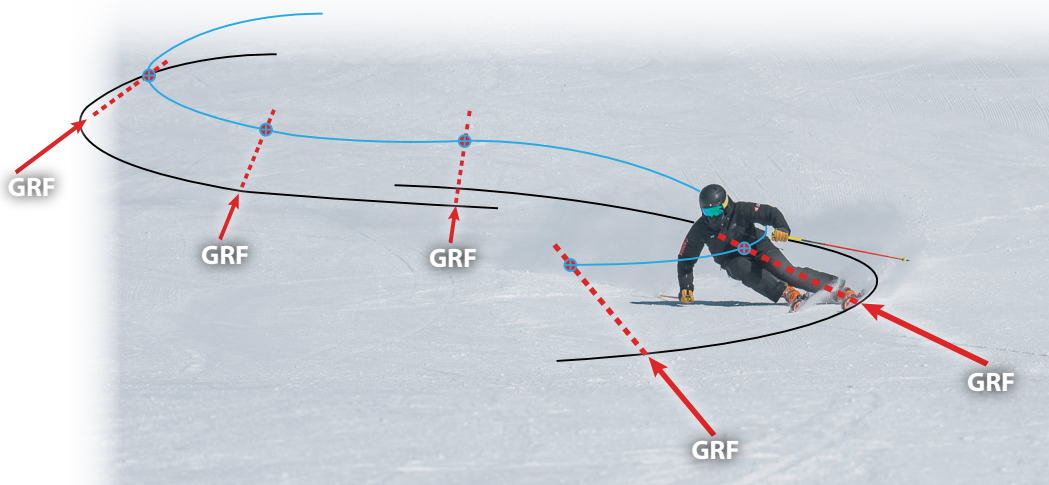


Figure 11 : La GRF pousse sur la BS pour diriger le skieur (CM).

Le skieur gère la direction dans laquelle la GRF pousse sur le CM en manipulant les skis par des mouvements du corps.

En combinant l'orientation des skis, le contrôle de la pression et les mouvements du corps, le skieur utilise la GRF pour contrôler la relation entre le CM et la BS.

Tout au long d'un virage, la GRF agit sur le CM à un angle par rapport à notre ligne de déplacement, à chaque point de l'arc, pour produire une trajectoire courbe.

4.4 La composante de ralentissement

Continuons avec l'exemple de notre skieur qui est en train de tourner. Nous pouvons examiner ou analyser la force de rotation encore plus pour déterminer quelle part de la force fait tourner le skieur et quelle part le ralentit potentiellement. Virtuellement, on peut imaginer un virage où il n'y a pas de ralentissement. Un virage coupé parfait représente une situation où la composante de ralentissement est la plus faible.

La GRF de rotation peut être décomposée en deux autres composantes : une composante qui ralentit le skieur — la GRF de ralentissement —, et une composante qui le fait tourner — la GRF latérale. L'amplitude et la direction de ces composantes combinées ont une incidence sur le mouvement du skieur.



Figure 12 : La GRF contrôle la direction et l'amplitude du changement dans le ski - notez que le momentum n'est pas une force, il est représenté ici pour aider à la visualisation de la direction actuelle du skieur. Seules les forces affecteront les changements de direction, et non le momentum !

En outre, le fait d'examiner les composantes des forces de ralentissement et de rotation et d'en discuter permet de clarifier la manière dont nous choisissons de définir les types de rotation. Comme on peut le voir sur la figure 13 ci-dessous, lorsque nous augmentons l'angle de conduite du ski, la composante de ralentissement augmente également. Plus la composante de ralentissement est importante, plus le ski dérape. En réduisant la composante de ralentissement, on réduit le dérapage du ski. Lorsque la composante de ralentissement est égale à zéro, le ski est en train de couper.

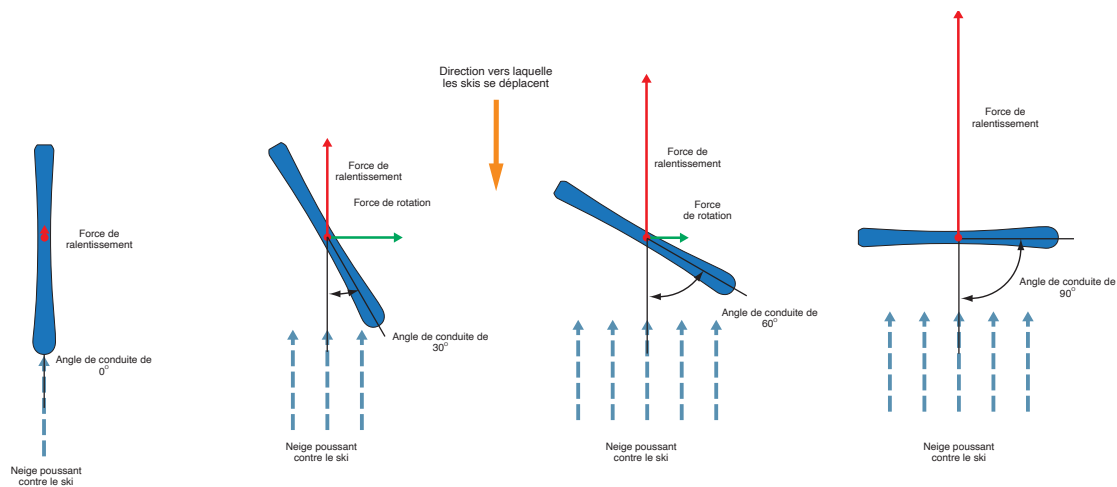


Figure 13 : Angle de conduite.

Leçons à retenir :

1. La composante de rotation de la GRF peut être décomposée en deux autres composantes : une composante qui ralentit le skieur et une composante qui le fait tourner.
2. Lorsque nous augmentons l'angle de conduite du ski, la composante de ralentissement augmente également.
3. Plus la composante de ralentissement est grande, plus le virage sera dérapé.

4.5 GRF — La référence de l'équilibre – Proprioception

La proprioception est la conscience que le corps a de lui-même dans l'espace tridimensionnel. C'est le sens qui permet de prendre conscience de la position et du mouvement du corps, des membres et des articulations, même en l'absence de vision. Il contribue à la coordination et à l'équilibre en envoyant au cerveau de l'information sur la position et les mouvements du corps, ce qui lui permet d'effectuer les ajustements nécessaires. Par exemple, fermez les yeux et touchez votre nez : comment êtes-vous parvenu à le trouver? La proprioception!

Les mécanorécepteurs sont des récepteurs sensoriels qui nous permettent de comprendre l'emplacement de notre corps dans l'espace. Il existe de nombreux types de mécanorécepteurs selon les différents tissus. Par exemple, la peau possède des capteurs de pression qui indiquent l'emplacement du CP par rapport à la plante du pied. D'autres types de mécanorécepteurs sont présents dans nos muscles et nos ligaments. L'information obtenue par ces récepteurs sensoriels nous aide non seulement à nous situer dans l'espace, mais elle est également nécessaire pour le mouvement. Le système moteur a besoin d'une boucle de rétroaction continue sur son emplacement dans l'espace pour créer des mouvements précis et orientés vers un objectif. En ski, la proprioception joue un rôle essentiel dans le maintien de l'équilibre, dans le contrôle du mouvement et dans l'ajustement aux changements de terrain. Les skieurs se fient à leur proprioception pour détecter les changements subtils de position du corps et faire des ajustements instantanés afin de maintenir la stabilité. L'amélioration de la proprioception par des exercices et un entraînement peut aider les skieurs à améliorer leurs performances et à réduire le risque de blessure. La proprioception est donc cruciale pour les skieurs de tous les niveaux.



Renseignements supplémentaires (4)

Leçons à retenir :

1. Le corps a une capacité innée de « connaître » son emplacement dans l'espace tridimensionnel sans devoir faire appel au sens de la vue.
2. Le corps est doté de nombreuses sources d'information, comme la pression exercée sur la plante de nos pieds, qui nous fournissent des renseignements essentiels lorsque nous skions.

4.6 Équilibre statique

L'équilibre statique représente simplement notre capacité à nous tenir debout au sol et à maintenir notre position. La seule force qui agit sur le corps est la gravité. Bien que cela soit difficile à voir, notre corps est toujours en mouvement; par exemple, si vous y prêtez attention, vous constaterez que votre corps est toujours en train d'ajuster sa position pour maintenir le CM au-dessus de la BS. Ainsi, le CP déplace le CM vers l'arrière lorsque le corps se balance vers l'avant et vice versa. Imaginez le CP comme un « chien de berger » qui pousse le CM vers le centre. Tant que le CM ne se retrouve pas en dehors de la zone projetée de la BS, l'équilibre statique est maintenu.

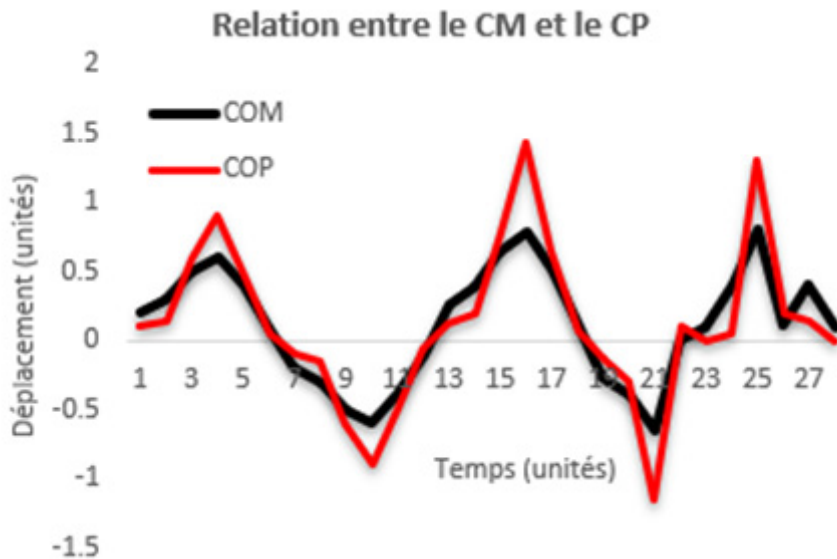


Figure 14 : Représentation graphique de la manière dont le centre de pression entoure le centre de masse et le ramène vers le centre pour préserver l'équilibre. Cette compensation s'effectue dans les directions avant-arrière et latérale. (Remarque: l'équilibre est un problème bidimensionnel!)

4.7 Équilibre dynamique

Comme l'équilibre statique, l'équilibre dynamique est le maintien de l'équilibre (parfois appelé stabilité de l'ensemble du corps), mais qui a lieu pendant le déplacement. Le déplacement confère la caractéristique dynamique à l'équilibre. Quand il y a déplacements, vient la nécessité de gérer le momentum et les forces de rotation.

Une relation similaire entre le CM et la BS est maintenue pendant l'équilibre dynamique, mais il y a des moments où le CM se déplace en dehors de la BS. Pensez à l'exemple de la marche : à chaque pas que nous faisons, le CM avance en dehors de la BS. Par la suite, les pieds reviennent sous la BS lorsqu'ils font un pas. La relation entre le CM et la BS retrouve l'équilibre. Ce moment d'instabilité (souvent appelé basculement) est nécessaire pour avancer en marchant. En ski, prenons l'exemple des bosses. De nombreux mouvements d'anticipation permettent de minimiser l'ajustement des mouvements à venir. Pensez, par exemple, à la façon dont un skieur de bosses expert glisse les pieds vers l'avant (par rapport à la position du CM) avant d'arriver à la bosse suivante. Les pieds avancent de sorte que lorsque la bosse change la direction de la GRF, le skieur ne perd pas l'équilibre. Il s'agit là d'un excellent exemple de mouvement d'anticipation pour maintenir l'équilibre dynamique. Dans certaines conditions, l'anticipation peut être plus difficile. Par exemple, quand la visibilité est mauvaise et qu'un skieur ne perçoit pas une bosse, cette dernière peut provoquer une perte d'équilibre, voire même une chute.

L'équilibre dynamique est ce que le skieur utilise pour rester en équilibre lorsqu'il est en mouvement. Les skieurs, en ajustant le centre de pression (CP), modulent continuellement la relation entre la BS et le CM. Un mouvement approprié pendant le déplacement permet aux skieurs de rester équilibrés pour atteindre les résultats souhaités.



Figure 15 : Le centre de masse (CM) est représenté dans le cercle avec la croix; dans cet exemple, le CM est probablement juste devant le bassin et relativement centré de droite à gauche.

4.8 Stabilité

La stabilité est notre capacité à maintenir l'équilibre ou à revenir à un état d'équilibre. À cet égard, l'un de nos objectifs en ski est de maintenir la stabilité (statique ou dynamique) pendant le déplacement. Nous pouvons ajuster notre posture pour nous rendre plus ou moins stables. Vous trouverez ci-dessous une liste des éléments qui permettent d'ajuster la stabilité, ainsi qu'un aperçu de leurs conséquences sur la stabilité.

- Position large – stabilité supérieure
- Position étroite – stabilité inférieure
- CM plus bas – stabilité supérieure
- CM plus élevé – stabilité inférieure

Différentes situations apportent plus ou moins de stabilité. Pensez, par exemple, à la large base de support stable d'un skieur en chasse-neige et aux avantages que cette position procure. D'un autre côté, le skieur en parallèle a une base de support beaucoup plus étroite qui nécessite des habiletés accrues. En ski, il faut le juste niveau de stabilité : pas trop ni pas assez. La situation et l'habileté du skieur permettent de déterminer le niveau adéquat de stabilité requise.

4.9 Contrôle de la pression avant-arrière : l'équilibre

Nous avons abordé la question de l'équilibre avant-arrière dans la section 4.2, en précisant que, en raison de l'interface très glissante entre le ski et la neige sur toute la longueur du ski, la force de la neige pousse toujours perpendiculairement à la surface de glisse du ski (base du ski). Cela signifie que l'équilibre optimal se situe perpendiculairement à la base du ski du point de vue du plan sagittal — équilibre avant-arrière. Par conséquent, maintenir notre base de support (pieds) et notre centre de masse sur cette ligne représente la position la plus efficace pour contrôler les skis. La première image du planchiste au sommet de la rampe ci-dessous illustre ce concept. Dans la deuxième séquence de l'image, le planchiste est dans la partie inclinée de la rampe. La force de réaction normale du sol est toujours perpendiculaire à la rampe mais inclinée dans ce cas-ci. Pour maintenir l'équilibre le planchiste doit déplacer son CM perpendiculaire à la plate-forme. Pour maintenir l'équilibre, ce dernier doit déplacer son CM perpendiculaire à la plate-forme. Il est facile d'imaginer ce qui se passerait si le planchiste n'ajustait pas sa ligne d'équilibre en fonction de l'inclinaison de la pente - il tomberait très rapidement vers l'arrière.

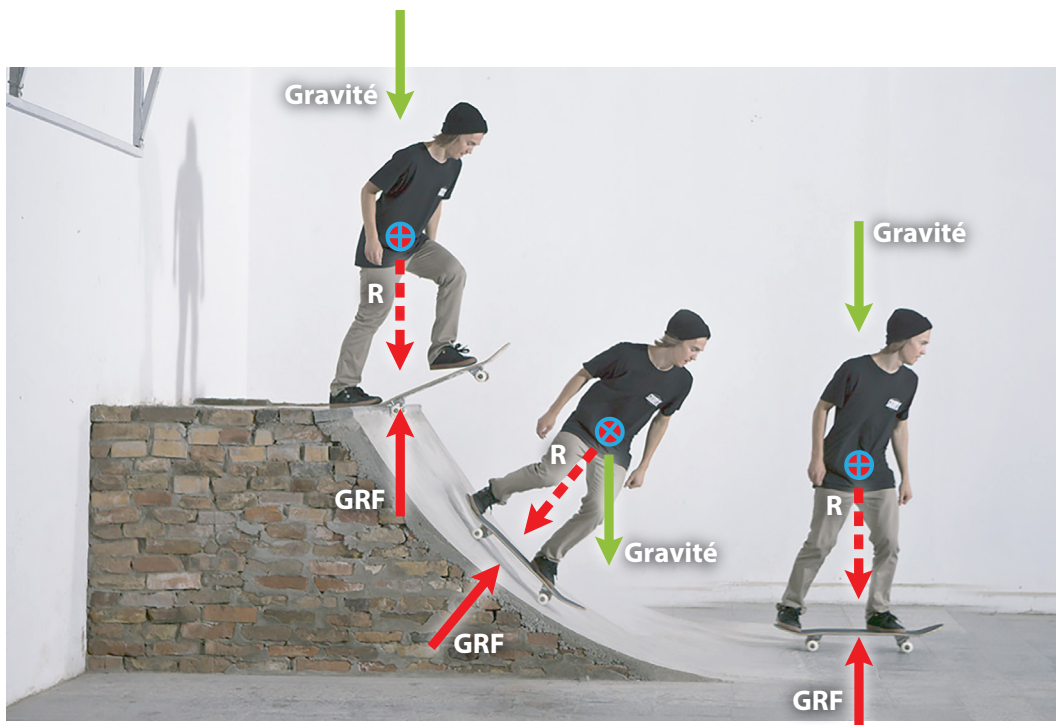


Figure 16 : La relation entre la GRF, le CM et la pente.

En raison de la rigidité des bottes de ski, qui sont attachées sur de grands leviers (qui sont les skis) nous avons une marge considérable pour nous éloigner de cette référence d'équilibre sans tomber. De plus, il nous arrive d'exercer intentionnellement une pression sur l'avant et l'arrière du ski pour obtenir les résultats désirés. Cela signifie que nous allons intentionnellement positionner notre ligne d'équilibre en avant ou en arrière de la trajectoire de la GRF, du point de vue du plan sagittal. Notre équilibre avant- arrière est déterminé par l'efficacité avec laquelle nous restons sur la trajectoire de la GRF et nous en éloignons.

En tant que skieurs et enseignants, nous devons comprendre et anticiper la trajectoire du CM et du CP ainsi que l'environnement changeant du terrain — l'équilibre en dépend ! Nous devons anticiper l'inclinaison toujours changeante de la pente lorsque nous tournons sur celle-ci — l'inclinaison devient plus abrupte lorsque nous nous dirigeons dans la ligne de pente et moins raide lorsque nous en sortons. De plus, pensez à la façon dont les variations de terrain influencent continuellement l'angle d'inclinaison du ski et comment il interagit avec la neige.

Leçons à retenir :

1. Vue du plan sagittal², la trajectoire de la GRF représente la référence de l'équilibre avant-arrière.
2. Vue du plan sagittal, la trajectoire de la GRF est perpendiculaire à la base du ski.
3. Vue du plan sagittal, la trajectoire de la GRF change continuellement à cause des skis qui tournent sur la piste de ski et des changements de terrain.
4. Du point de vue du plan sagittal, nous sommes en équilibre lorsque la trajectoire de la GRF passe par nos pieds et notre centre de masse (CM). En d'autres termes, la ligne d'équilibre du skieur et la GRF sont alignées.

²Plan sagittal: Vue du skieur de côté - vue latérale. Plan vertical allant de l'avant à l'arrière, divisant le corps ou l'une de ses parties en deux parties, le côté droit et le côté gauche. (Voir figure 19).

4.10 Contrôle de la pression latérale : l'équilibre

C'est notre équilibre latéral qui est le plus difficile à obtenir. La référence de l'équilibre latéral est de nouveau représentée par la trajectoire de la GRF, mais vue maintenant depuis le plan frontal. Pour assurer la stabilité latérale, la ligne d'équilibre du skieur doit être alignée sur la GRF, du point de vue du plan frontal.

Latéralement, la ligne d'équilibre du skieur est déterminée, comme le montre la figure 10a, par la combinaison de la gravité et de la force centrifuge, que nous appelons « force résultante ».

Comme c'est le cas pour la référence de l'équilibre avant-arrière, la référence de l'équilibre latéral change continuellement tout au long du virage. Ainsi, un skieur doit continuellement ajuster sa ligne d'équilibre pour maintenir sa stabilité par rapport à la référence de l'équilibre de la trajectoire de la GRF qui change continuellement.

En observant de grands skieurs, nous remarquerons que le degré d'inclinaison à la fin du virage est beaucoup plus important qu'au début du virage. Cet écart s'explique par le fait que les forces subies à la fin du virage sont beaucoup plus importantes que celles subies au début du virage. Plus la force est grande, plus il faut s'incliner.

En effet, la partie supérieure du virage a une composante de gravité qui diminue la GRF poussant sur nous, et la partie inférieure du virage a une composante de gravité qui augmente la GRF poussant sur nous. Nous ressentons moins de force au début et plus au fur et à mesure que le virage progresse.



Renseignements supplémentaires (5)

De plus, les skieurs se déplacent souvent plus lentement dans la partie supérieure du virage que dans la partie inférieure, car la vitesse augmente au fur et à mesure que l'on avance dans la ligne de pente. Comme il a été établi précédemment, la vélocité a une incidence importante sur les forces de rotation (page 17, 8e leçon à retenir). Plus nous nous déplaçons rapidement dans un virage, plus l'amplitude de la force est grande.

Les skieurs expérimentés sont meilleurs à gérer des forces plus importantes et des degrés d'inclinaison croissants. Ils y parviennent grâce à leurs capacités athlétiques, à leur dévouement à l'entraînement et, finalement, au perfectionnement de leurs compétences en matière de ski.



Figure 17 : Contrôle de la pression latérale extrême.

Lindsay Vonn affichant l'inclinaison extrême (environ 70 degrés!) nécessaire pour maîtriser les forces à grande vitesse et rester en équilibre. Son inclinaison doit être aussi importante en raison de sa vélocité et de son rayon d'action — elle se déplace très rapidement. Pour être en équilibre, elle doit avoir cette inclinaison afin de s'opposer à la trajectoire de la force de réaction de la neige, soit la GRF.

Leçons à retenir :

1. Vue du plan frontal, la trajectoire de la GRF représente la référence de l'équilibre latéral.
2. C'est en jouant avec la ligne d'équilibre à l'intérieur ou à l'extérieur de cette référence que nous contrôlons l'équilibre et la stabilité.
3. Vue du plan frontal (équilibre latéral), lorsque la ligne d'équilibre du skieur et la trajectoire de la GRF sont alignées, le skieur est dans une position stable et équilibrée.
4. Plus la GRF est grande, plus il faut s'incliner.
5. La force de réaction du sol est plus importante en fin de virage qu'au début du virage.

4.11 L'inclinaison — Une analogie de l'équilibre

Le système d'équilibre de l'humain n'a pas besoin de connaître de formules mathématiques et de lois de la physique pour savoir ce qui se passe. Il ressent simplement ces forces et fait habilement bouger le corps pour le garder en équilibre.

Lorsque le skieur sent qu'il est attiré vers l'extérieur du virage; c'est la force centrifuge. Il réagit instinctivement en s'inclinant. Plus la force est grande, plus nous sentons le besoin de nous incliner contre elle.

Dans le contexte d'un virage en ski, nous pouvons considérer cette situation comme une équation d'équilibre des forces — le souque à la corde. Nous avons deux équipes, la gravité et la force centrifuge, et elles se livrent à une lutte à la corde. La gravité nous attire vers l'intérieur du virage et la force centrifuge nous attire vers l'extérieur. Peu importe le degré de notre inclinaison, nous utilisons la gravité comme contrepoids à l'intérieur du virage pour équilibrer la force centrifuge qui nous attire vers l'extérieur du virage.

Comme on l'explique plus haut, la GRF augmente en amplitude au fur et à mesure de la progression du virage; elle est moins présente au début du virage et plus présente à la fin. Puisque la GRF augmente et que nous ressentons davantage la force centrifuge, la ligne d'inclinaison doit être accrue pour maintenir l'équilibre entre le contrepoids de la gravité et la force centrifuge.

Que se passe-t-il si nous ne parvenons pas à rétablir l'équilibre entre la force centrifuge et la gravité? Si nous dévions du côté de la gravité (figure 18, G+) et que nous nous inclinons trop, notre ligne d'équilibre se trouvera à l'intérieur de la trajectoire de la GRF, et nous commencerons à tomber vers l'intérieur.

Nous pouvons soit continuer à nous laisser tomber à l'intérieur du virage, soit corriger la situation par une manœuvre de récupération. Lorsque nous utilisons le ski intérieur, que nous traînons le bâton intérieur, que nous faisons un angle ou que nous réduisons le rayon du virage pour retrouver notre équilibre, nous ajustons en fait notre état actuel de déséquilibre vers un état d'équilibre — nous rapprochons la ligne d'équilibre de la trajectoire de la GRF. Pour ce qui est de l'analogie du souque à la corde, la gravité avait l'avantage et nous devons rapidement donner un coup de main à l'équipe de la force centrifuge (littéralement, si c'était la main intérieure).

Si nous dévions du côté de la force centrifuge (figure 18, C+) et que nous maintenons cette modulation, nous aurons efficacement amorcé un mouvement vers le nouveau virage. La vitesse à laquelle cela se produit dépend du degré de déséquilibre.

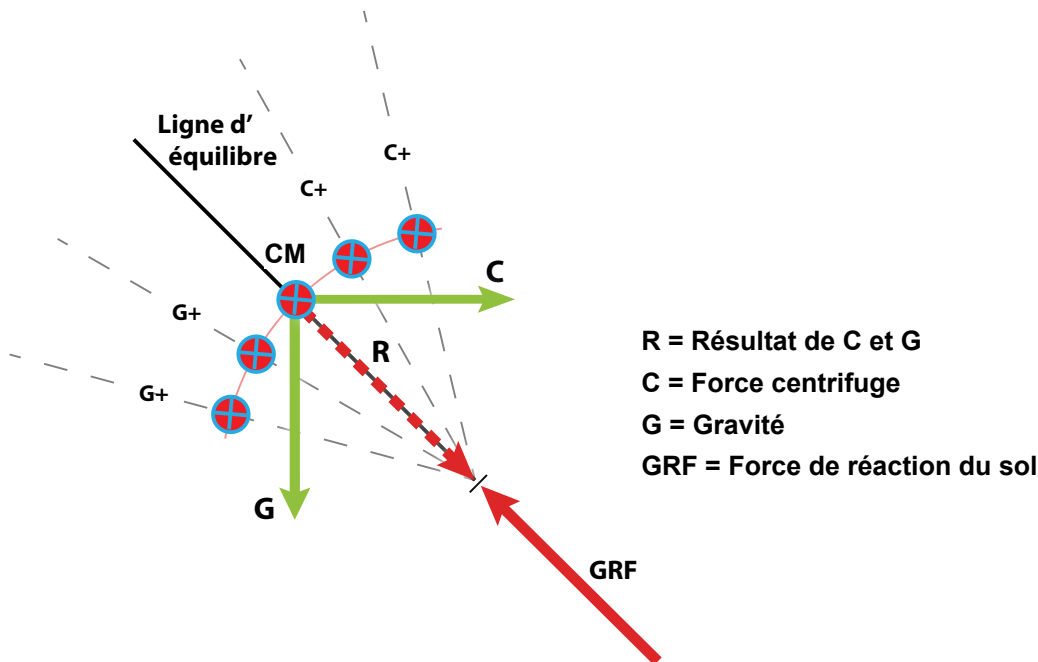


Figure 18 : Un diagramme de corps libre démontrant l'état d'équilibre idéal malgré sa précarité. De plus, notons comment nous pouvons utiliser la force gravitationnelle et la force centrifuge pour nous déplacer vers l'intérieur de la courbe ou vers le prochain virage lorsque que nous permettons à ces forces d'influencer la relation entre la GRF et le CM.

L'équilibre est atteint lorsque les forces agissant sur le CM sont parfaitement alignées avec la GRF. Dans le diagramme ci-dessus, l'équilibre est représenté lorsque les lignes noire et rouge se croisent - le CM est directement aligné avec la GRF. Cependant, il est important de préciser qu'en réalité, les skieurs se déplacent continuellement vers un état d'équilibre ou hors de ce dernier, tout au long de leurs virages. Ces mouvements sont intentionnels et souhaités, car c'est par ce mécanisme que nous gérons la relation entre le CM et la GRF. Lorsque la GRF ne passe pas directement par le CM, ce qui est le cas la plupart du temps, il en résulte un déplacement du CM.

Tout comme un chien de berger gère un troupeau en le poussant continuellement, les skieurs gèrent leur CM en le poussant continuellement dans la direction souhaitée. En ce qui concerne l'analogie du tir à la corde ci-dessus, la plupart des skieurs inclinent progressivement selon l'analogie du chien de berger pour obtenir des angles d'inclinaison plus prononcés plutôt que d'effectuer une action unique - comme on peut l'observer dans un virage Stivot en slalom géant pendant une course de Coupe du monde. Le coureur se laisse tomber à l'intérieur de la courbe sous l'effet de la gravité avant qu'une prise de carre rapide arrête la chute en créant instantanément la force centrifuge.

4.12 Tout assembler : la force le CP et l'équilibre

Inspirons-nous de quelques-uns de ces concepts et relient ces idées entre elles. Nous avons besoin d'une force pour changer de direction !

Le CP définit l'emplacement exact (point d'application de la force) où cette force agit sur notre BS. Nous gérons l'emplacement et l'amplitude de la force agissant sur le BS pour maintenir l'équilibre ou pour favoriser C et G (figure 18). Le mouvement en déplacement !

Par exemple, dans l'analogie de la gravité et de la force centrifuge, un skieur expert va intentionnellement favoriser le côté de la gravité pour continuer à augmenter l'inclinaison, jusqu'à ce qu'il choisisse de rééquilibrer les forces gravitationnelles et centrifuge. L'état d'équilibre ne dure que peu de temps avant qu'il ne déséquilibre à nouveau intentionnellement les composants (en favorisant la force centrifuge) pour réduire l'inclinaison et déplacer le CM au-dessus des skis vers le virage suivant. Les skieurs experts sont capables de laisser leur CM tomber juste un peu en avant de la trajectoire du ski qui les rattrape continuellement.

Un acte d'équilibre dynamique est le mécanisme par lequel les skieurs avancés permettent au CM de tomber plus loin dans un virage, comme moyen de propulser le CM à travers la BS et dans un nouveau virage.



Figure 19 : Ted Ligety en inclinaison extrême.

Essayez-le! Faites quelques descentes et faites varier le degré d'inclinaison.

Rappelez-vous la façon dont sont régies les forces qui déterminent le degré d'inclinaison : par la gravité, que vous ne pouvez évidemment pas influencer, et la force centripète, que nous ressentons comme la force centrifuge. La force centripète est régie par la vitesse et le rayon.

Comme on le mentionne plus haut, skier deux fois plus vite multiplie par quatre la force centripète. Pour établir une référence de base, faites une descente de slalom géant facile. Ensuite, doublez la vitesse, mais gardez le même rayon, et observez le degré d'inclinaison nécessaire pour rester en équilibre. Observez également à quel endroit dans le virage vous avez besoin de la plus grande inclinaison, au début ou à la fin du virage.



Renseignements supplémentaires (6)

Leçons à retenir:

1. Nous avons besoin de force pour changer de direction.
2. La GRF est la force qui permet de changer notre direction.
3. Nous gérons notre direction en manipulant l'amplitude, la direction et le point d'application de la GRF.
4. Les skieurs experts désalignent constamment et intentionnellement la GRF et la ligne d'équilibre par des mouvements pour créer et gérer les forces de virage - Mouvement en déplacement.
5. Un acte d'équilibre dynamique est le mécanisme par lequel les skieurs avancés permettent au CM de tomber plus loin à l'intérieur d'un virage, et comme le moyen de propulser le CM à travers la BS et dans un nouveau virage.

Résumé des leçons à retenir

Leçons à retenir : Forces

1. Le ski est un mouvement.
2. Il ne peut y avoir de mouvement sans force.
3. Une force est une poussée ou une traction sur un objet, résultant de l'interaction entre cet objet et un autre objet (ski et neige).
4. La force de gravité nous entraîne vers le bas de la pente.
5. D'autres forces facilitent le contrôle de la vitesse et de la direction.

Leçons à retenir : Vecteurs

1. Les forces ont deux propriétés essentielles : l'amplitude et la direction.
2. En physique, l'accélération comporte une composante de vitesse, mais aussi une composante directionnelle.
3. Un objet accélère s'il change de direction, même s'il reste à une vitesse constante.
4. Si un corps change de direction, il accélère.
5. Les forces sont cumulatives.

Leçons à retenir : Forces internes et externes

1. Les forces en jeu dans la pratique du ski peuvent être divisées en deux catégories : internes et externes.
2. Les forces internes sont générées par les muscles du skieur. Nous pouvons utiliser ces forces pour influencer nos mouvements.
3. Les forces externes agissent sur le skieur depuis l'extérieur du corps. Ces forces sont à la base des déplacements du skieur.

Leçons à retenir : Mouvement (mécanique newtonienne)

1. Les lois du mouvement régissent les lois du ski. Les lois de Newton définissent les règles du mouvement.
2. La première loi de Newton nous permet de définir l'inertie, une force qui fait en sorte que les objets immobiles restent immobiles et que les objets en mouvement se déplacent à une vitesse constante.
3. La deuxième loi de Newton stipule que l'ampleur du mouvement d'un objet est proportionnelle à la force qui agit sur celui-ci. En manipulant nos skis sur la neige, nous pouvons gérer les forces agissant sur nous et donc contrôler notre mouvement pour atteindre nos objectifs.
4. Lorsque les skieurs utilisent leurs muscles ou leur équipement pour pousser sur la neige, la troisième loi de Newton affirme que la neige les repousse! Alors oui, la neige exerce réellement une pression sur nous!

Leçons à retenir : Forces et mouvement; gravité, friction

1. Le centre de masse est un point précis du corps où l'on considère que la masse du skieur et de l'équipement est concentrée.
2. La gravité est la force principale qui confère un momentum aux skieurs.
3. La gravité agit en deux composantes : une composante qui nous entraîne dans une direction perpendiculaire à la surface de la neige et une composante qui tire le CM vers le bas de la pente.
4. La friction nous ralentit. Nous expérimentons deux types de friction : la friction entre le ski et la neige et la friction de l'air qui pousse contre le corps du skieur.

Leçons à retenir : Momentum

1. Le momentum définit combien de mouvement a un objet (la quantité de mouvements).
2. Deux variables déterminent le momentum d'un objet, à savoir la masse et la vitesse.
3. Le momentum d'un objet n'augmente ou ne diminue que lorsqu'une force nette agit sur lui.
4. Sur les skis, nous manipulons notre momentum par l'interaction de nos skis avec la neige et nous contrôlons donc la façon dont la neige exerce une pression sur nous!

Leçons à retenir : Force de réaction du sol (GRF)

1. Oui, la neige exerce réellement une pression sur nous.
2. La force de réaction du sol (GRF) est la réaction de la neige à la force que nous y appliquons.
3. La GRF peut être simplifiée de sorte à représenter la trajectoire exacte de la pression que la neige exerce sur nous.
4. La GRF est la force qui permet de contrôler la direction et la vitesse. C'est la force qui nous permet de faire des virages.
5. En manipulant la GRF, nous faisons en sorte que la neige nous pousse de la bonne manière pour obtenir le résultat souhaité.
6. Nous contrôlons la GRF par l'interaction de nos skis avec la neige.
7. La gravité est la force principale qui nous déplace. Le mouvement engendre le momentum et nous gérons notre momentum (vitesse et direction) en manipulant la GRF.

Leçons à retenir : GRF : Une question d'équilibre

1. La GRF peut être simplifiée en une trajectoire singulière.
2. La trajectoire de la GRF représente la référence de l'équilibre et de la stabilité.
3. La ligne d'équilibre du skieur représente la position du skieur.
4. Un skieur aligne sa ligne d'équilibre avec la GRF pour obtenir une position de stabilité.
5. Fondamentalement, la force de réaction du sol (GRF) est ce contre quoi nous nous équilibrons.

Leçons à retenir : Comprendre les composantes de la GRF

1. La GRF est composée de nombreuses forces.
2. Une composante nous maintient à la surface de la neige, une composante nous fait tourner, et une autre encore nous ralentit.

Leçons à retenir : GRF perpendiculaire

1. Une composante perpendiculaire de la GRF, appelée « force normale », résiste à notre poids et nous maintient à la surface de la neige.
2. Nous nous enfonçons dans la neige molle jusqu'à ce que celle-ci soit compactée au point de repousser une force égale à celle que nous lui appliquons.

Leçons à retenir : GRF de rotation : Centripète, centrifuge

1. La composante de la GRF qui nous fait tourner est une force centripète.
2. La force centripète est une catégorie de forces qui cherchent à se déplacer vers le centre alors que les objets décrivent un cercle.
3. Pour tourner (créer la force centripète), nous devons placer le ski en travers de notre ligne de déplacement. L'angle de conduite peut être faible, mais ne vous y trompez pas : il est nécessaire pour tourner.
4. La force centripète (une force qui cherche à se déplacer vers le centre) est une force réelle, tandis que la force centrifuge (une force qui cherche à fuir le centre et la force que nous ressentons réellement) est une force fictive. La force centrifuge est égale et opposée à la force centripète.
5. Si la force centripète est supprimée, l'objet se déplacera immédiatement de manière tangentielle par rapport à la trajectoire du cercle autour duquel il se déplaçait.
6. Nous ne disposons que de deux variables pour modifier la force d'un virage : la vitesse ou le rayon!
7. La relation entre la force centripète et le rayon de virage est inverse. Plus le rayon du virage est petit, plus la force centripète est grande. Si l'on réduit de moitié la taille du virage, la force centripète double.
8. Le facteur le plus important pour déterminer l'amplitude de la force centripète est la vitesse, étant donné la relation quadratique entre la vitesse et la force comme on le mentionne ci-dessus (c'est-à-dire que si nous skions deux fois plus vite, la force centripète quadruple).

Leçons à retenir : GRF de ralentissement

1. La composante de rotation de la GRF peut être décomposée en deux autres composantes : une composante qui ralentit le skieur et une composante qui le fait tourner.
2. Lorsque nous augmentons l'angle de conduite du ski, la composante de ralentissement augmente également.
3. Plus la composante de ralentissement est grande, plus le virage est dérapé.

Leçons à retenir : GRF — La référence de l'équilibre - Proprioception

1. Le corps a une capacité innée de « connaître » son emplacement dans l'espace tridimensionnel sans devoir faire appel au sens de la vue.
2. Il existe de multiples sources de renseignements, notamment la pression exercée sur la plante de nos pieds, qui nous fournissent de l'information essentielle lorsque nous skions.

Leçons à retenir : Contrôle de la pression avant-arrière – L'équilibre

1. Vue du plan sagittal, la trajectoire de la GRF représente la référence de l'équilibre avant-arrière.
2. Vue du plan sagittal, la trajectoire de la GRF est perpendiculaire à la base du ski.
3. Vue du plan sagittal, la trajectoire de la GRF change continuellement à cause des skis qui tournent sur la piste de ski et des changements de terrain.
4. Du point de vue du plan sagittal, nous sommes en équilibre lorsque la trajectoire de la GRF passe par nos pieds et notre centre de masse (CM). En d'autres termes, la ligne d'équilibre du skieur et la force de réaction du sol (GRF) sont alignées.

Leçons à retenir : Contrôle de la pression latérale - L'équilibre

1. Vue du plan frontal, la trajectoire de la GRF représente la référence de l'équilibre latéral.
2. C'est en jouant avec la ligne d'équilibre (CM) à l'intérieur ou à l'extérieur de cette référence que nous contrôlons l'équilibre et la stabilité.
3. Vue du plan frontal (équilibre latéral), lorsque la ligne d'équilibre du skieur et la trajectoire de la GRF sont alignées, le skieur est dans une position stable et équilibrée.
4. Plus la GRF est grande, plus il faut s'incliner.
5. La force de réaction du sol est plus importante en fin de virage qu'au début du virage.

Leçons à retenir : Tout assembler

1. Nous avons besoin de force pour changer de direction.
2. La GRF est la force qui permet de changer notre direction.
3. Nous gérons notre direction en manipulant l'amplitude, la direction et le point d'application de la GRF.
4. Les skieurs experts désalignent constamment et intentionnellement la GRF et la ligne d'équilibre par des mouvements pour créer et gérer les forces de virage - Mouvement en déplacement.
5. Un acte d'équilibre dynamique est le mécanisme par lequel les skieurs avancés permettent au CM de tomber plus loin à l'intérieur d'un virage, et comme le moyen de propulser le CM à travers la BS et dans un nouveau virage.

Chapitre 5 : Anatomie fonctionnelle et biomécanique

Introduction

Le langage technique de cette section est complexe dans le langage courant. En effet, il n'est pas accessible à tous les membres et encore moins aux skieurs récréatifs! Il est cependant indispensable pour discuter du mouvement de manière précise et efficace entre collègues moniteurs. Utilisez cette information pour approfondir votre propre compréhension de la science qui entoure ce sport que nous aimons. Il est proposé qu'un effort vers une meilleure compréhension technique en dehors des pistes apportera des échanges et des méthodes de travail plus simples et constructifs sur la neige.

Cette section donne un aperçu des éléments les plus pertinents de l'anatomie et de la biomécanique liés aux articulations, ainsi qu'aux chaînes cinétiques et cinématiques les plus pertinentes pour le ski. La description du mouvement est essentielle à la description du ski. Il est également essentiel de comprendre les articulations et les connexions qui créent les mouvements liés au ski. Ce qui suit est destiné à fournir un aperçu simple des éléments les plus importants de l'anatomie fonctionnelle qui aideront à décrire les mouvements du ski. Il s'agit, en fait, d'une branche de la biomécanique. Par conséquent et les monitrices, cette section se concentre sur les membres inférieurs et la colonne vertébrale. Il est important pour les moniteurs et les monitrices de comprendre les principales articulations et d'approfondir leurs connaissances de l'anatomie et de la biomécanique, afin que leurs descriptions des mouvements du skieur soient plus précises et conduisent à une meilleure compréhension de la FAÇON d'atteindre les résultats souhaités en matière de mouvement, et donc de mieux diriger les skis et maîtriser les interactions ski-neige. Cette section permet d'obtenir une compréhension fondamentale des éléments de base du cadre triangulaire du développement des habiletés sur lesquels les « mouvements du skieur » sont fondés.

Mouvement

Le mouvement est un phénomène très complexe à observer, à décrire et à étudier. Les mouvements auxquels un skieur fait appel pour obtenir, maintenir ou modifier une position particulière nécessitent un vocabulaire et une compréhension plus complets pour que les professionnels puissent en discuter adéquatement. Le mouvement tridimensionnel se produit sur six degrés de liberté (trois plans de mouvement et trois axes de rotation; voir la figure 9). Les plans de mouvement sont les suivants : transversal (souvent appelé simplement « de rotation », le long de l'axe longitudinal), avant-arrière (le long de l'axe sagittal) et latéral (le long de l'axe frontal); les trois axes de rotation sont nommés de la même manière : axe longitudinal, axe sagittal et axe frontal. Les descriptions biomécaniques du mouvement humain sont souvent fournies à partir d'un cadre de référence frontal, sagittal et transversal et peuvent être utilisées pour décrire un mouvement particulier. On dit généralement qu'un élément est vu « selon » un plan.

Par exemple : La flexion des hanches déplace le CM du skieur vers l'avant (mouvement avant-arrière selon l'axe de rotation frontal), selon le plan sagittal.

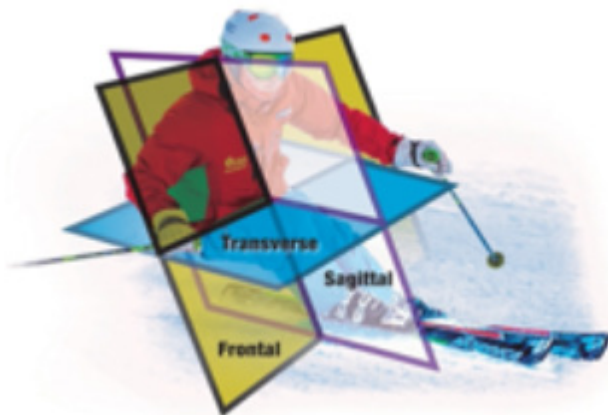


Figure 20 : Plans de mouvement et axes de rotation. Le plan sagittal divise le corps en côtés gauche et droit et le plan mi-sagittal divise le corps en deux moitiés égales. Le plan frontal divise le corps en moitiés avant et arrière et le plan transversal en moitiés supérieure et inférieure. Les plans de mouvement et leurs axes de rotation respectifs sont utilisés pour décrire le mouvement relatif du corps et des articulations.

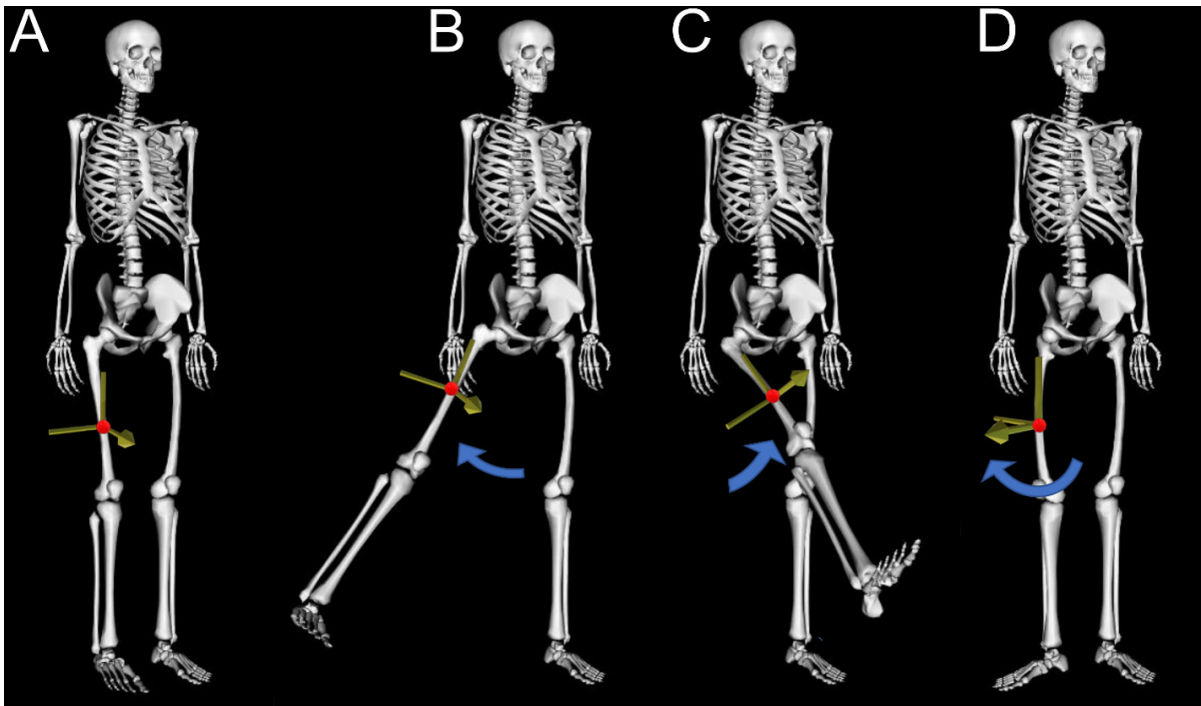


Figure 21 : Les six degrés de liberté pour le mouvement du corps comprennent trois plans de mouvement et trois axes de rotation. (A) illustre le système de coordonnées du fémur droit; (B) illustre la rotation d'abduction et d'adduction de la hanche dans le plan frontal; (C) montre la flexion et l'extension de la hanche dans le plan sagittal autour de l'axe frontal; (D) illustre la rotation médiale et latérale autour de l'axe longitudinal dans le plan transversal.

Cadres de référence pour le mouvement

Lorsque nous décrivons un mouvement, nous devons garder à l'esprit le contexte du cadre de référence auquel nous nous référons à tout moment. Un cadre de référence est une description de l'orientation et de l'espace en trois dimensions, qui a des axes orthogonaux (à des angles de 90° les uns par rapport aux autres). Dans la figure 20 ci-dessus, le cadre de référence est le corps dans son ensemble, qui est coupé selon des axes sagittal, frontal et transversal. Le cadre de référence peut également être mondial, où la gravité agit dans le sens vertical vers le centre de la terre. À plus petite échelle, il peut s'agir d'un cadre de référence d'une articulation particulière ou du ski lui-même. Par exemple, l'axe longitudinal du ski va de la spatule au talon. Il ne faut pas le confondre avec l'axe longitudinal du corps, qui va de haut en bas! Lorsque nécessaire, il est important de préciser le cadre de référence pour améliorer la communication du mouvement et du déplacement.

Plans de mouvement et axes de rotation

En premier lieu, définissons ce qu'est un plan. Un plan est une surface plane à deux dimensions. En ce qui concerne les plans de mouvement, il y en a trois qui forment des angles orthogonaux (90°) les uns par rapport aux autres. Ces plans de mouvements fournissent des références pour décrire et quantifier les mouvements des articulations et du corps dans son ensemble. Par exemple, la flexion et l'extension ont lieu dans le plan sagittal. Les axes de rotation fournissent un cadre supplémentaire pour décrire le mouvement. Par exemple, les mouvements de flexion et d'extension se produisent autour des axes de rotation médio-latéraux. En général, les mouvements de rotation sont mieux décrits par rapport aux axes de rotation et les mouvements linéaires sont mieux décrits selon les plans de mouvement. À cette fin, le mouvement du corps est souvent décrit selon un plan de mouvement, mais les articulations du corps suivent un axe de rotation. Par exemple, l'articulation du genou fléchit autour de l'axe médio-latéral tandis que le skieur glisse vers l'avant dans le plan sagittal.

Articulations

Les articulations sont des connexions entre les parties du corps. Les articulations simples ont deux connexions osseuses qui sont soutenues par des ligaments et contrôlées par des muscles. Les complexes articulaires sont des connexions qui comptent plus de deux os faisant plus d'une connexion (p. ex. le complexe articulaire de la cheville). Le corps possède divers types d'articulations. Lorsque la plupart des gens pensent aux articulations, ils pensent à un type d'articulation appelé articulation synoviale. Les articulations synoviales ont des surfaces de cartilage hyalin qui permettent un mouvement fluide entre les os composant l'articulation. Ces articulations contiennent du liquide synovial qui lubrifie les surfaces articulaires et les rend glissantes, permettent ainsi d'obtenir un mouvement fluide sans frottement. Les articulations fibrocartilagineuses, quant à elles, sont constituées de fibres de collagène solides qui relient les deux os et résistent généralement aux mouvements. Pour résumer, nous disposons principalement de deux types d'articulations : certains qui favorisent le mouvement (articulations synoviales) et d'autres qui relient les os entre eux (fibrocartilagineuses).



Ligaments

Les ligaments sont comme des fils de guidage qui aident à diriger passivement le mouvement à l'échelle de l'articulation. L'articulation du genou en est un bon exemple : elle est composée de ligaments collatéraux médians et latéraux robustes qui empêchent le genou de glisser sur le côté, ainsi que de ligaments croisés (ligament croisé antérieur ou LCA, et ligament croisé postérieur ou LCP) qui contrôlent le déplacement du fémur (cuisse) et du tibia (jambe inférieure) d'avant en arrière. Les ligaments sont étirés aux extrémités de l'amplitude du mouvement et contrôlent les limites du mouvement autorisé à l'échelle de l'articulation. Ils sont passifs par nature, ce qui signifie qu'ils produisent une force (résistance) lorsqu'ils sont étirés en fonction de l'amplitude du mouvement des articulations au lieu d'être maîtrisés sous contrôle direct.



Muscles

Les muscles sont ce qui permet le mouvement. Ils sont essentiels pour favoriser des mouvements habiles et coordonnés. Ils sont semblables à des poulies qui créent le mouvement, mais les muscles créent une rigidité pour empêcher le déplacement des articulations et faciliter la résistance aux forces externes, comme la gravité et l'accélération centripète, que nous subissons lorsque nous skions en arc de cercle. Les muscles sont contrôlés par les nerfs qui relaient les messages et les réflexes du cerveau et de la moelle épinière. Il existe trois types de contractions musculaires qui ont des objectifs différents. (1) Les contractions concentriques ont lieu lorsque le muscle se raccourcit. Pensez à la façon dont nous soulevons un ski de la neige : la hanche se fléchit et les muscles fléchisseurs de la hanche se contractent concentriquement contre la force de gravité. (2) Lorsque les muscles se contractent en conservant leur longueur, il s'agit d'une contraction isométrique. Pensez à la façon dont, en ski, nous glissons dans un espace restreint et les muscles quadriceps (à l'avant de la cuisse) se contractent sans mouvement pour nous maintenir en position. (3) Les contractions excentriques ont lieu de façon continue en ski. Elles nous permettent de contrôler notre mouvement en contractant un muscle pendant qu'il s'allonge. Par exemple, lorsque nous nous abaissons en pliant les genoux, la gravité continue à nous tirer vers le bas, et c'est en fait le muscle quadriceps qui se contracte de manière excentrique pour contrôler le taux de flexion du genou.



L'articulation de la hanche

L'articulation de la hanche est une articulation à rotule (synoviale) qui permet trois rotations autour de chaque axe de mouvement, offrant ainsi une grande amplitude de mouvement. Ces rotations sont appelées flexion-extension, abduction-adduction et rotation médo-latérale. La flexion de la hanche ramène l'avant de la cuisse vers le bassin et le torse; l'extension est le contraire.

L'abduction de la hanche éloigne la cuisse de la ligne médiane, alors que l'adduction la rapproche, voire la dépasse. La rotation médiale tourne l'avant de la cuisse vers la ligne médiane, tandis que la rotation latérale tourne la cuisse vers l'extérieur ou l'éloigne de la ligne médiane. Il faut différencier ces rotations du mouvement du bassin. Le bassin est l'anneau osseux qui relie la colonne lombaire et la hanche. Ce n'est pas une articulation, mais il bouge sous l'effet

de la rotation de la hanche, du mouvement de la colonne vertébrale ou des deux. La rotation des hanches est souvent désirable. Toutefois, la rotation du bassin a parfois une connotation négative en ski. C'est en fait en raison de la rotation du bassin que certains skieurs tournent le corps au complet dans les virages. Dans ce cas, le bassin (et l'abdomen) dirige l'effort de virage, alors que le skieur fait une torsion du corps pour amener les skis dans le virage.



Le complexe articulaire du genou



Articulation du genou (fémur et tibia)

L'articulation du genou, en ce qui concerne le ski, peut être considérée comme une simple articulation charnière. Le genou se fléchit (le mollet se déplace vers l'arrière de la cuisse) et s'étend (la jambe inférieure se redresse). Le genou possède plusieurs ligaments solides (voir ci-dessus) et subit souvent des blessures en ski. Le taux de blessures au genou est en partie lié au fait qu'il s'agit du maillon faible de la chaîne. La cheville est bien protégée dans la botte de ski et la congruence articulaire est meilleure (ce qui signifie que la structure de l'articulation offre un soutien osseux supérieur), alors que le genou est une extrémité arrondie qui tourne sur une surface relativement plate (le plateau tibial).

Articulation fémoro-rotulien

L'articulation fémoro-rotulien est le contact de la « rotule » (patella) avec l'os de la cuisse (fémur). Cette articulation fournit un point de levier au muscle quadriceps pour obtenir un avantage mécanique (augmentation du bras de levier) lors de la création d'un couple du genou. Les muscles quadriceps (partie antérieure de la cuisse) sont essentiels au ski, car les genoux sont souvent pliés (flexion), ce qui demande aux muscles de pousser contre la gravité (ce qui crée ainsi simultanément une force et une raideur de l'articulation du genou).

Complexe articulaire de la cheville

Le complexe articulaire de la cheville présente le plus grand nombre de connexions osseuses de tous les complexes articulaires que nous avons abordés. Il existe un large éventail de mouvements dans la cheville et le pied, mais la plupart d'entre eux sont limités par la botte de ski (réduisant ainsi les blessures et obtenant un avantage mécanique pour l'articulation) et la plupart des mouvements sont également cachés par la botte. Alors que la pronation et la supination sont des mouvements du pied essentiels à la marche pour de nombreuses raisons, on ne sait toujours pas quelles sont les contributions éventuelles de ces mouvements dans une botte de ski, en particulier une botte de compétition très ajustée axée sur la performance. La fonction principale de la cheville dans le ski est la flexion et l'extension. La capacité des muscles du pied et du mollet à raidir encore plus l'articulation de la cheville en cas de besoin est tout aussi importante pour ces mouvements. La rigidité de l'articulation est obtenue par la co-contraction, ou la contraction des muscles des deux côtés de l'articulation pour tirer l'articulation dans les deux sens, ce qui permet de créer une rigidité (c.-à-d. une rigidité de rotation de l'articulation). Celle-ci permet au skieur d'ajuster et de manipuler l'articulation de la cheville pour améliorer la rigidité fournie par la botte.



Mortaise de cheville

La mortaise de la cheville est la principale articulation permettant la flexion dorsale et plantaire du pied. Il s'agit de flexion dorsale lorsque le dessus (ou le dos) du pied se déplace vers les tibias (os du tibia). Il s'agit de flexion plantaire lorsque le pied pointe vers le bas ou s'éloigne du corps (comme lorsqu'une personne appuie sur la pédale d'accélérateur).

Articulations tibio-fibulaires

Il existe deux articulations tibio-fibulaires : l'une proximale, ou proche, et l'autre distale, ou éloignée. L'articulation tibio-fibulaire proximale se trouve juste en dessous de l'articulation du genou; c'est la bosse sur la face latérale (extérieure) de la jambe inférieure. Il s'agit de la tête du péroné qui pivote pour permettre à l'extrémité distale du péroné de tourner sur les plans médial et latéral lorsque le pied effectue une rotation médiale et latérale (autour de l'axe longitudinal du corps). L'articulation distale du tibia et du péroné peut être blessée en ski, souvent par compression. Par exemple, un skieur peut se blesser l'articulation tibio-fibulaire en atterrissant sur une surface plate au lieu d'une surface inclinée à partir d'une pyramide. La compression écarte les deux os, créant une blessure communément appelée « entorse haute de la cheville ».

Articulation sous-astragalienn

L'articulation sous-astragalienn (aussi appelée articulation astragalo-calcaneenne) se situe directement sous l'articulation de la cheville et est la principale articulation dans l'inversion et l'éversion du pied, c'est-à-dire la rotation de la partie inférieure du pied vers l'intérieur et l'extérieur, respectivement.

Colonne lombaire

La colonne lombaire est un complexe articulaire complètement différent de ceux dont nous avons abordé jusqu'à présent. Il s'agit également de l'une des zones les plus fréquemment blessées et douloureuses dans la collectivité des moniteurs de ski et dans la population en général. La colonne lombaire est constituée d'articulations facettaires dans le dos (postérieur), à droite et à gauche, avec des segments au-dessus et un segment en dessous (au total, quatre articulations), plus une articulation discale fibrocartilagineuse au-dessus et en dessous de chaque segment (ajoutant deux articulations supplémentaires par segment). Jusqu'à présent, nous avons abordé des articulations synoviales (dont les caractéristiques uniques les rendent idéales pour le mouvement). Les articulations fibrocartilagineuses sont conçues pour restreindre le mouvement et sont mieux adaptées pour arrêter le mouvement ou maintenir les structures ensemble. Dans ce cas, les disques de la colonne lombaire (articulations fibrocartilagineuses) relient les segments supérieurs et inférieurs (supérieurs et inférieurs) et assurent la principale fonction de portage (transmission de la charge ou de la force). Il est bien documenté que la compression (y compris le poids du corps et les charges supplémentaires pendant le ski) est suffisante pour créer une lésion discale lorsqu'elle est combinée à une flexion de la colonne. Pour ces raisons, il est préférable d'effectuer les virages en tournant les jambes, et non le dos! Rappelez-vous que nous avons abordé la séparation du haut et du bas du corps, et que la structure de division est la hanche et non le bassin, la colonne vertébrale ou l'abdomen!



Effet du mouvement de l'articulation sur le CM :

Les mouvements ci-dessous ont les effets suivants lorsque l'articulation est déplacée de manière isolée ou avec une amplitude de mouvement relativement plus grande que les autres articulations du corps :

- Flexion de la hanche — déplace le CM vers l'avant
- Extension de la hanche — déplace le CM vers l'arrière
- Flexion du genou — déplace le CM vers l'arrière
- Extension du genou — déplace le CM vers l'avant
- Dorsiflexion de la cheville — déplace le CM vers l'avant
- Flexion plantaire de la cheville — déplace le CM vers l'arrière

Principe biomécanique : Rigidité proximale pour la mobilité distale

Avant de clôturer la section sur le mouvement, il est important de réfléchir au principe biomécanique de la rigidité proximale en ce qui concerne la mobilité distale. Autrement dit, les segments les plus proches du centre restent stables afin que les segments les plus éloignés du centre puissent créer un mouvement précis et athlétique. Le noyau (comprenant le bassin et la cage thoracique formant le torse) est le plus central et reste donc le plus immobile. Les jambes sont les plus distales et créent donc le plus de mouvement agissant sur les skis. De la même manière, les mains et les poignets sont les plus distaux par rapport à la partie supérieure du torse, et ils contribuent largement au mouvement du planté du bâton, tandis que l'épaule reste relativement plus rigide. C'est également vrai pour le ski puisque la BS n'est pas fixe, mais plutôt librement mobile, puisque la jambe inférieure (genoux, mollets et pieds) a beaucoup moins de masse et ainsi un avantage inertiel pour se déplacer plus librement. Par exemple, imaginez que vous skiez sur une bosse et que vous essayez de rétablir votre équilibre. Le moyen le plus efficace est de déplacer vos pieds d'avant en arrière plutôt que de bouger l'ensemble du torse. Le fait de raidir le torse tout en déplaçant les pieds améliorera la précision et la facilité de l'effort en raison du principe de rigidité proximale et de mobilité distale, ainsi que des propriétés inertielles des segments (masse du torse par rapport à la masse des pieds). Les concepts de rigidité proximale et de mobilité distale expliquent le besoin d'un haut du corps « droit » et d'un bas du corps mobile : cela présente des avantages pour la vitesse, l'agilité et l'efficacité du mouvement.

Chaîne cinétique

Les chaînes cinétiques sont la façon dont la charge ou la force est transportée d'une partie à l'autre ou, dans le cas qui nous concerne, du corps au ski. Dans le présent document, le mouvement du centre de masse (CM) sera considéré comme une représentation du corps (p. ex. la relation entre le CM et la base de support [BS]). La chaîne cinétique est la façon dont la charge se déplace de la neige jusqu'au CM ou du CM jusqu'à la neige. Tout est une question de perspective : pensez à la troisième loi de Newton!

Un élément important à considérer en ce qui concerne les chaînes cinétiques est la posture du corps. Une position basse créera des charges articulaires (couples ou moments) relativement importantes puisque la force est transmise le long de l'os, alors que dans une position debout naturelle, les charges articulaires (en particulier les couples ou les moments) sont très faibles, voire inexistantes. Pensez à la position relative du corps dans les longs virages en parallèle experts par rapport aux virages dans la ligne de pente, où le skieur résiste activement aux forces externes pour produire une déviation sur la neige (c.-à-d. « jambe extérieure longue »).

Chaînes cinétiques ouvertes et fermées

Pour faire simple, une chaîne cinétique ouverte, c'est lorsque la partie du corps que vous déplacez (généralement un membre) est libre (non fixée) dans l'espace. Par exemple, une articulation peut être déplacée indépendamment d'une autre articulation. Une chaîne fermée signifie donc que le mouvement d'une articulation entraîne le mouvement d'une autre. Cela s'explique souvent par le fait que l'extrémité du membre n'est pas « libre dans l'espace », mais est plutôt en contact avec l'environnement et qu'elle fera bouger les autres articulations de la chaîne, car la force le long de la chaîne crée un mouvement dans plusieurs articulations.

Chaîne cinématique

Un mouvement orienté vers un objectif nécessite généralement la coordination de plusieurs articulations. L'interdépendance de ces articulations travaillant vers un objectif commun peut être décrite comme une chaîne cinématique. Par exemple, l'exécution d'un accroupissement nécessite une flexion dorsale au niveau de la cheville, une flexion du genou et une flexion des hanches pour maintenir l'équilibre et une posture droite. De nombreuses combinaisons d'angles articulaires sont possibles le long de cette chaîne cinématique, mais une seule est optimale selon la charge, la vitesse et l'équilibre de l'athlète ainsi que les objectifs de performance. Les chaînes cinématiques sont importantes dans le ski, car la coordination des mouvements entre de nombreuses articulations permet d'obtenir des mouvements fluides et rythmiques.

Comme les chaînes cinétiques, les chaînes cinématiques sont composées d'une combinaison de positions ou de mouvements des articulations le long d'un ensemble de segments connectés. Vous trouverez ci-dessous quelques exemples communs de chaînes cinématiques qui sont particulièrement pertinentes pour le ski.

Paradoxe de la flexion des hanches et des genoux et actions des skis

La prochaine section risque d'être très intéressante, car elle concerne les actions des skis sur la neige! Lorsque vous vous tenez debout avec les hanches en position neutre (anatomique), la rotation médiale et latérale du fémur au niveau de l'articulation de la hanche produit des mouvements de « rotation » (torsion) du ski autour de l'axe vertical du ski. Par exemple, lors de la transition entre deux virages, la rotation médiane de la nouvelle jambe de ski extérieure (au niveau de l'articulation de la hanche) contribuera à la création d'un angle de carre précoce dans un virage plus sculpté (en permettant aux genoux de se tendre vers l'intérieur de l'arc), mais uniquement lorsque les hanches et les genoux sont fléchis. Par conséquent, il y a un avantage à avoir une jambe pliée pendant la transition d'un virage à l'autre si un angle de carre précoce est l'objectif. D'un autre côté, chez le skieur débutant, pour qui les forces centripètes sont moindres, une position plus droite est idéale, car un nombre inférieur de muscles est nécessaire. De plus, comme ces muscles sont « superposés », moins d'efforts musculaires sont requis et la rotation médiane des hanches peut permettre de tourner les skis. Cette position correspond davantage aux virages « dérapés » souvent réalisés. Des renseignements supplémentaires sur les chaînes cinématiques sont fournis ci-dessous.

Supination et pronation

La supination et la pronation sont des mouvements complexes du pied et de la cheville. La description du mouvement du pied est souvent décrite dans une chaîne cinétique ouverte comme l'inversion, la flexion plantaire et l'adduction; cependant, dans une chaîne cinétique fermée (comme durant le ski, lorsque le pied est en contact avec le sol [bien qu'en glissant]), le mouvement est mieux décrit comme la supination en ce qui concerne la cheville (adduction astragalienne, flexion plantaire et éversion calcanéenne). Cela peut prêter à confusion! Une meilleure façon de penser à la manière dont la supination et la pronation sont liées au ski est que leurs mouvements et leurs positions permettent ce qui suit :

1. Le continuum entre pronation et supination nous permet de modifier le point de pression dans notre pied.
2. La supination raidit le pied et la cheville.
3. La pronation rend le pied et la cheville plus souples ou flexibles.

Ces trois fonctions ont leur place et leur importance dans le ski. Il faut également préciser qu'il est pratiquement impossible de voir et de mesurer ce mouvement de manière significative et que les moniteurs doivent se fier aux impressions et aux descriptions de leurs élèves pour comprendre ce mouvement très complexe du pied et de la cheville. Il convient de noter que ce mouvement est fortement limité dans de nombreuses bottes de ski bien ajustées, notamment les bottes de performance et de course, ce qui rend l'incidence totale de ces mouvements encore plus difficile à déterminer.

Valgus dynamique du genou – Angulation du genou

Voici un autre sujet important pour le ski! Avez-vous déjà entendu quelqu'un dire de « rentrer les genoux »? Lorsque les genoux se déplacent vers l'intérieur, l'action et la rotation de l'articulation se font au niveau de la hanche! Le valgus dynamique est une combinaison de rotation et d'adduction médiale des hanches et de flexion des genoux pour créer l'illusion d'une flexion « latérale » des genoux vers l'intérieur du virage. Il peut également s'agir d'une question de perspective! Lorsque vous regardez un skieur, différents degrés de valgus dynamique sont observables simplement à partir d'un point de vue bidimensionnel du mouvement tridimensionnel. Cette description plus précise du mouvement et de ses composantes ne vise en aucun cas à minimiser l'importance de ce phénomène. En fait, de nombreuses personnes appellent cette action « angulation du genou » et nous reprendrons cette expression dans les sections suivantes.

Leçons à retenir :

1. Le mouvement du skieur est un mélange complexe de flexions de nombreuses articulations travaillant ensemble.
2. Les chaînes cinématiques lient les mouvements des articulations. Elles constituent une description de la façon dont les articulations du corps travaillent ensemble pour réaliser un mouvement orienté vers un objectif.
3. Les chaînes cinétiques sont la description et les effets des manières dont les forces se déplacent le long de la chaîne des articulations et des segments du corps.
4. Les os, les ligaments et les muscles forment ensemble des complexes articulaires.
5. Les articulations les plus proches du centre du corps (la colonne vertébrale) doivent être plus rigides pour permettre un mouvement coordonné des membres (en ski, les jambes et les pieds).



C'est ici que nous concluons Les éléments fondamentaux du ski. Le prochain document de la série est Le cadre de développement des habiletés.

Pour ceux qui souhaiteraient approfondir les aspects techniques, la section Renseignements supplémentaires qui suit couvre des détails techniques complémentaires et des explications sur certains aspects.

Renseignements supplémentaires

1. Deuxième loi de Newton : $F = ma$

La masse est propre au skieur et à son équipement; elle est donc différente pour chacun. Elle est fixe et nous ne pouvons pas la changer. L'accélération, en revanche, est un vecteur. Nous pouvons la manipuler, ce qui fait d'elle un aspect important du ski. Étant un vecteur, l'accélération a deux composantes : la vitesse et la direction. Par conséquent, nous pouvons accélérer lorsque nous nous déplaçons à une vitesse constante (avec seulement un changement de direction) ou lorsque nous nous déplaçons dans une direction constante (avec seulement un changement de vitesse).

Tous les habitants de la Terre sont soumis à une accélération gravitationnelle (en physique, le symbole est « g » — une constante sur Terre = $9,8 \text{ m/s}^2$) qui, lorsqu'elle est multipliée par la masse d'une personne, définit la force de gravité agissant sur cette personne (appelée « poids »). Ainsi, à l'aide de l'équation $F = ma$, nous pouvons également énoncer que le Poids = $P = FG = mg$.

EXEMPLE : Une personne pesant 73 kg (160 lb) aura un poids sur Terre = $73 \text{ kg} \times 9,8 \text{ m/s}^2 = 715 \text{ kg m/s}^2$ ou Newton (N), qui est l'unité de mesure communément utilisée pour exprimer la force ou le poids dans le système SI (Système international d'unités). Sur la lune, cette même personne pèserait environ un sixième de ce poids, car la constante « g » est propre à la Terre, comme il a été mentionné précédemment.

[Retour à la section 2.1](#)

2. Momentum

Est le produit de la masse (en kilogrammes) et de la vitesse (en mètres par seconde). Ainsi, le momentum est exprimé en kilogrammes mètres par seconde (kg m/s).

Le momentum, tout comme la vitesse, est une quantité vectorielle, définie par une amplitude et une direction. Une force appliquée à un corps peut modifier l'amplitude du momentum ou sa direction, ou les deux.

En pratique, le momentum d'un objet n'augmente ou ne diminue que lorsqu'une force nette agit sur lui, parce que la force va l'amener à accélérer ou décélérer et à augmenter ou diminuer sa vitesse.

La formule mathématique suivante explique le phénomène : $p = mv$, où « p » = le momentum, « m » = la masse et « v » = la vitesse.

EXEMPLE : Une personne pesant 73 kg (160 lb) et se déplaçant à une vitesse de 10 m/s (22,4 mph) aura un momentum = $p = 73 \text{ kg} \times 10 \text{ m/s} = 730 \text{ kg m/s}$.

Nous pouvons prouver que si nous changeons notre momentum, il en résultera un changement de force dans le temps.

Utilisons notre formule ci-dessus pour le momentum $\Delta p = m \Delta v$ (où Δ est le symbole utilisé par les mathématiciens pour représenter « un changement dans »). Appelons cette équation « Équation no 1 ». Nous savons également, grâce à la deuxième loi de Newton, que $F = ma$ où m = masse et a = accélération. Enfin, nous pouvons exprimer l'accélération comme une variation de la vitesse dans le temps, ou $a = \Delta v/t$.

En substituant, nous obtenons $F = ma = m\Delta v/t$. En réarrangeant, nous obtenons $\Delta v = Ft/m$. Enfin, en substituant ce résultat à l'équation no 1, nous obtenons : $\Delta p = m \Delta v = m \times Ft/m$. La masse s'annulant, $\Delta p = Ft$, ou, en d'autres termes, un changement de momentum entraîne un changement de force dans le temps.

[Retour à la section 3.4](#)

3. Force centripète

Rappelons-nous la deuxième loi de Newton : $F = ma$, où « F » = force, « m » = masse et enfin, « a » = accélération. Cependant, dans ce cas :

$F_c = mac$, où l'indice « c » fait référence à « centripète ».

Comme nous le savons, la vitesse est un vecteur qui indique la vitesse à laquelle une distance est parcourue et la direction du mouvement. Étant donné que le vecteur vitesse (la direction) d'un corps change lorsqu'il décrit un cercle, il y a une accélération. Cette accélération est appelée accélération centripète et peut s'exprimer ainsi, $a_c = v^2 / r$, où « a » désigne l'accélération centripète, « v » désigne la vitesse et « r » désigne le rayon du cercle.

Par conséquent, $F_c = mac = m (v^2 / r) = mv^2/r$.

Ainsi, la force centripète = masse x vitesse au carré / rayon ($F_c = m.v^2 / r$).

[Retour à la section 4.3](#)

4. Proprioception

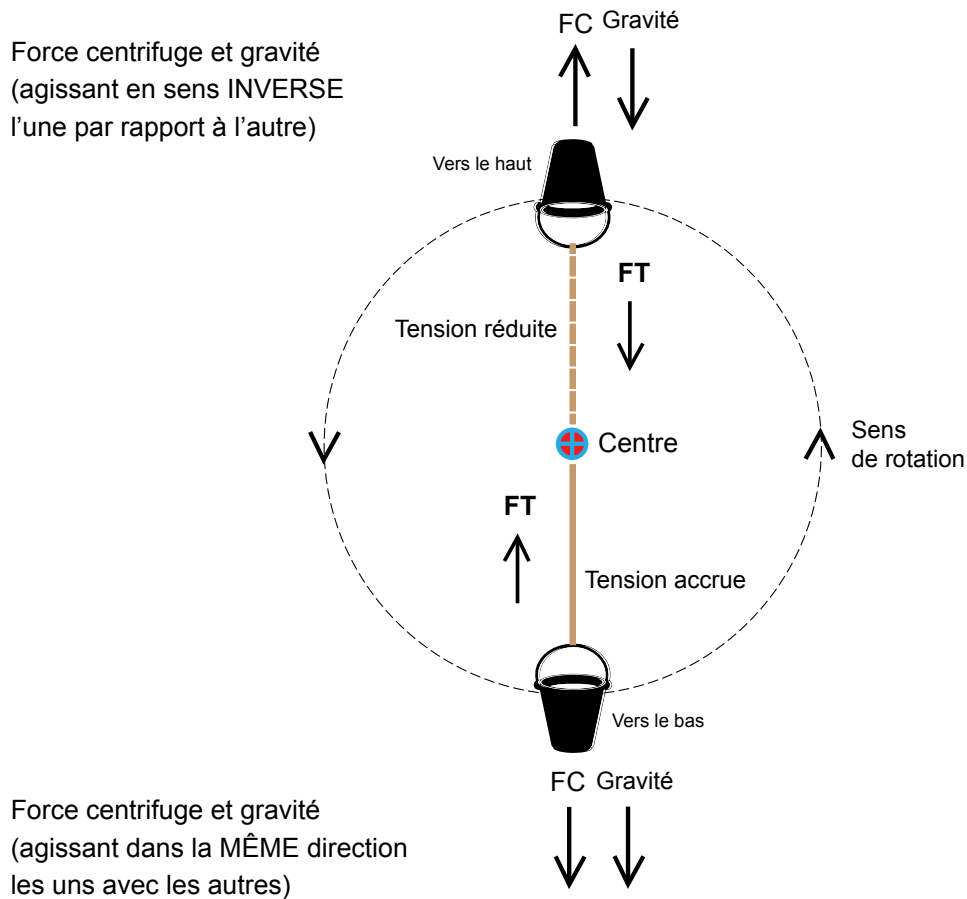
La peau possède des capteurs de pression qui peuvent nous indiquer où se trouve notre CP par rapport à la plante de notre pied. Les muscles sont dotés de fuseaux musculaires qui indiquent la longueur du muscle (qui est intégrée dans les centres sensoriels du cerveau pour indiquer la mesure dans laquelle l'articulation est pliée) et les changements de vitesse musculaires pour connaître la vitesse de déplacement des muscles. Ou encore, les ligaments des organes tendineux de Golgi ont comme rôle de nous informer de la force ou de la tension que subit un muscle. Voilà des exemples d'organes proprioceptifs (capteurs). Tous ces renseignements sont interprétés et intégrés dans notre cortex sensoriel, notre cervelet et notre tronc cérébral pour nous permettre de comprendre notre emplacement dans l'espace. Ces renseignements sont également nécessaires pour le mouvement. Le système moteur a besoin d'une boucle de rétroaction continue sur son emplacement dans l'espace pour créer des mouvements précis et orientés vers un objectif.

[Retour à la section 4.5](#)

5. Les forces d'inclinaison

Il est plus facile de comprendre ce concept en visualisant le mouvement d'un seau d'eau que l'on fait tourner au bout d'une corde dans le plan vertical. La tension de la corde (en ski, il s'agit de notre GRF) est plus importante en position basse (6 heures) qu'en position haute (12 heures).

Figure 22 :



Dans la figure 21), la somme des forces ($FT =$ force de tension et $FG =$ force de gravité) doit toujours être égale à la force centripète ($F_c = mv^2/r$).

Au point SUPÉRIEUR du cercle, vous pouvez voir que FT pointe vers le bas et FG, comme toujours, pointe vers le bas. Comme toujours, FC pointe vers le centre. Si nous adoptons la convention selon laquelle une force dirigée vers le centre est positive, alors $mv^2/r = FT + FG$. Cette équation peut être réarrangée pour calculer la force de tension au point supérieur du cercle :

$$FT (\text{point supérieur du cercle}) = mv^2/r - FG = mv^2/r - mg = m(v^2/r - g)$$

Autrement, au point INFÉRIEUR du cercle, vous pouvez voir que FT pointe vers le haut et FG, comme toujours, pointe vers le bas. Comme toujours, FC pointe vers le centre. Encore une fois, si nous adoptons la convention selon laquelle une force dirigée vers le centre est positive, alors $mv^2/r = FT - FG$. Cette équation peut être réarrangée pour calculer la force de tension au point inférieur du cercle :

$$FB (\text{point inférieur du cercle}) = mv^2/r - FG = mv^2/r + mg = m(v^2/r + g)$$

Maintenant, ramenons tout cela au ski! Évidemment, il n'y a pas de corde à tendre lorsque nous tournons. Nous sommes cependant en contact avec (et poussons contre) la neige qui exerce une GRF sur nous, comme on l'explique plus haut.

À titre d'exemple, supposons qu'une personne de 68 kg (150 lb) se déplaçant à une vitesse de 15 m/s (34 mph) tourne dans un rayon de 15 m comme dans la figure 18 ci-dessus.

Selon les équations ci-dessus :

$$FT (\text{point supérieur du cercle}) = m(v^2/r - g) = 68(15^2/15 - 9,8) = 354 \text{ N, ou exprimé en } G = 0,53 \text{ G (rappelons que } G = \text{ multiple de votre poids).}$$

$$FB (\text{point inférieur du cercle}) = m(v^2/r + g) = 68(15^2/15 + 9,8) = 1\ 687 \text{ N, ou exprimé en } G = 2,53 \text{ G! (Rappelons que } G = \text{ multiple de votre poids).}$$

L'exemple ci-dessus est toutefois théorique, car il est réalisé dans le plan vertical et, évidemment, nous ne skions pas dans un plan vertical (ou du moins, pas volontairement!). La force de gravité doit être ajustée pour tenir compte de la pente. De la même manière que pour le calcul de l'inclinaison, si la pente est, par exemple, de 25 degrés, nous utiliserons $g \sin \theta$ à la place de g dans l'équation ci-dessus, obtenant ainsi :

$$FT (\text{point supérieur du cercle}) = 739 \text{ N, ou exprimé en } G = 1,11 \text{ G et, } FB (\text{point inférieur du cercle}) = 1\ 302 \text{ N, ou exprimé en } G = 1,95 \text{ G Force } g$$

Plus nous avons tendance à trouver notre équilibre en nous appuyant contre la force de réaction produite par la neige, plus la force que nous ressentons est grande. Nous pouvons utiliser la force g pour représenter la force que nous ressentons.

À titre d'illustration, nous pouvons exprimer la force que nous appliquons à la neige (R) comme un multiple du poids du skieur. Une force d'un « G » sera égale à 1 x le poids du skieur. Une force de deux « G » sera égale à deux fois le poids du skieur et ainsi de suite.

À l'aide de calculs mathématiques, nous pouvons déterminer la valeur des G que le skieur ressent à différents angles d'inclinaison. Voir le diagramme ci-dessous.

[Retour à la section 4.10](#)

6. Inclinaison — Angle d'inclinaison

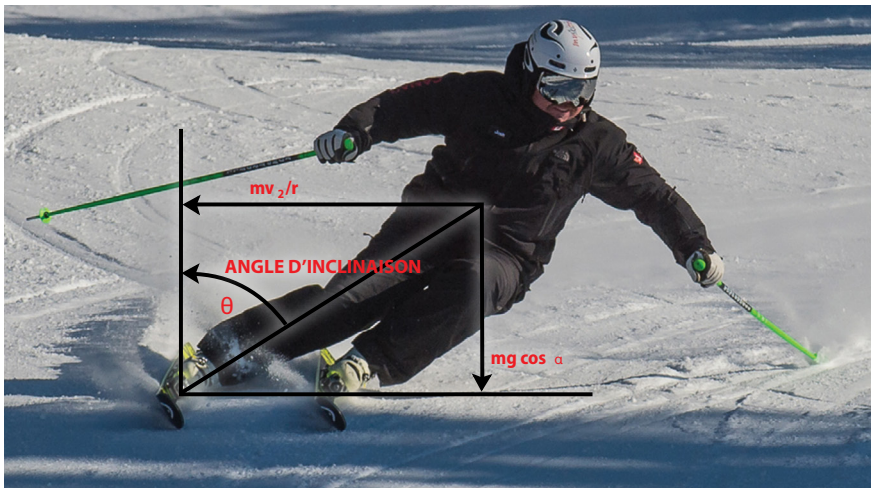
$G = R \cos \Theta$, où G = notre poids (= force de gravité agissant sur notre masse), R = force résultante agissant sur le skieur et Θ est notre angle d'inclinaison (= inclinaison). En réarrangeant, on obtient $R = G / \cos \Theta$. Le tableau ci-dessous représente la force (exprimée en « G » ou en multiples du poids du skieur) à divers degrés d'inclinaison.

Inclinaison (Θ) (Degrés)	Force (Gs)	
0	1,0	
20	1,1	
30	1,2	
45	1,4	Skieur expert
60	2,0	
70	2,9	Élite — compétiteur à la Coupe du monde

Dans quelle mesure nous inclinons-nous?

En utilisant les équations de la première loi de Newton et de la force centripète comme nous l'avons vu précédemment, nous pouvons construire le diagramme suivant qui illustre l'angle d'inclinaison et son rapport avec les forces en jeu.

Figure 23 : Angle d'inclinaison.



Remarque : Nous pensons que la force centrifuge indiquée (du centre du virage vers l'extérieur) est égale et opposée à la force centripète = mv^2/r comme le montre la figure 23.

Dans le diagramme ci-dessus, l'angle d'inclinaison « Θ » peut être exprimé ainsi :

$\tan \Theta = \text{opposé} / \text{adjacent} = (mv^2/r) / (mg \cos \alpha)$, où « α » = pente. Avec l'annulation de la masse, $\tan \Theta = v^2 / rg \cos \alpha$.

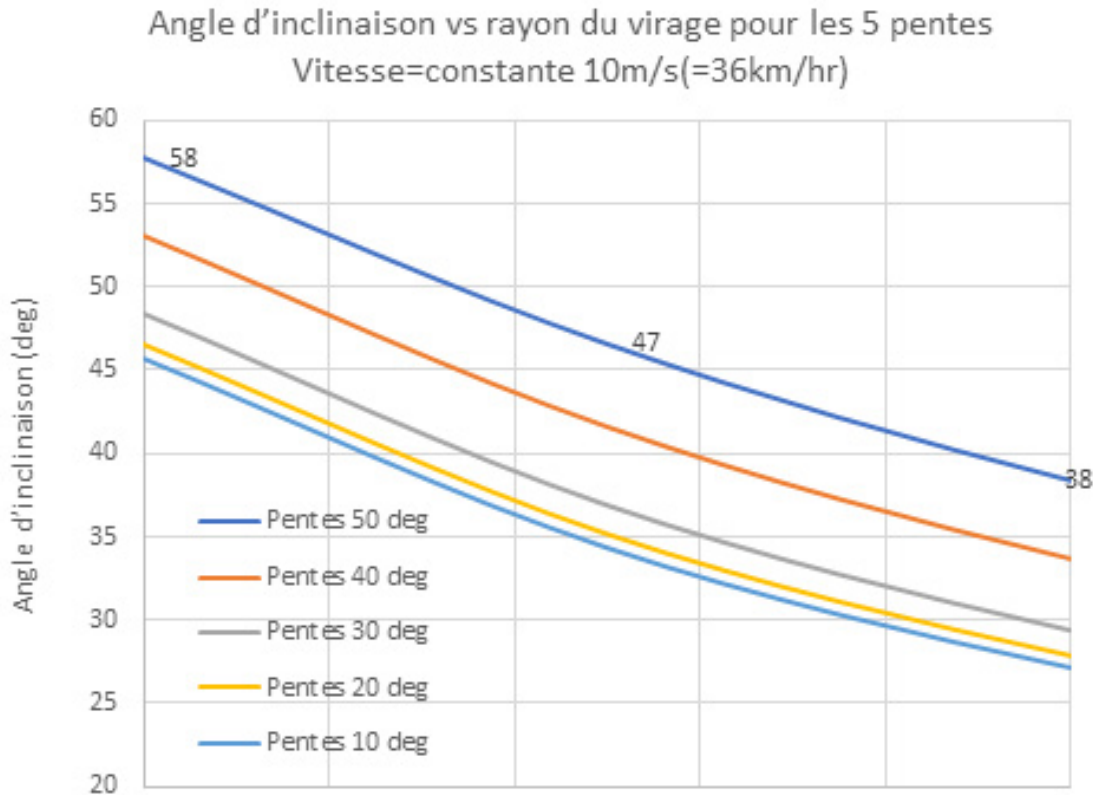
Résolution de l'angle d'inclinaison Θ , $\Theta = \tan^{-1} (v^2 / rg \cos \alpha)$

En utilisant la formule ci-dessus, nous pouvons tracer des graphiques pour présenter certains angles d'inclinaison possibles pour divers rayons de virage à des pentes variables (tout en maintenant la vitesse constante) et à des vitesses variables (tout en maintenant la pente constante).

Pour mettre en contexte lors de l'examen des graphiques ci-dessous : les pistes pour débutants présentent généralement une pente de 6 à 25 degrés; les pistes intermédiaires, de 25 degrés à 40 degrés, et les pistes pour experts, de 40 degrés et plus. En ce qui concerne la vitesse, les skieurs récréatifs skient généralement à des vitesses comprises entre 16 km/h (4,5 m/s) et 32 km/h (8,9 m/s), alors qu'un géantiste (spécialiste du slalom géant) en Coupe du monde atteindra une moyenne d'environ 80 km/h (22 m/s).

Nous pouvons voir sur le graphique ci-dessous, qui présente la relation entre l'angle d'inclinaison et le rayon de virage à des pentes variables (en maintenant la vitesse constante), que l'angle d'inclinaison augmente de façon spectaculaire lorsque la pente augmente pour un rayon de virage donné. L'angle d'inclinaison augmente également lorsque le rayon du virage diminue (en maintenant la vitesse constante). Ce changement est attendu à la lumière de la relation inverse entre la force centripète et le rayon de virage décrite précédemment.

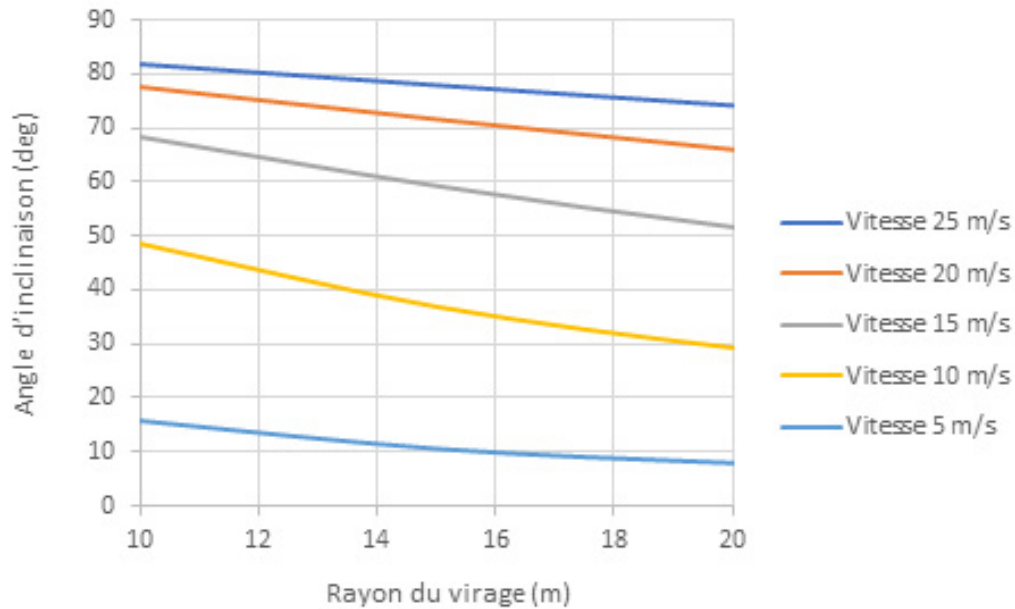
Figure 24 :



Nous pouvons également voir sur le graphique ci-dessous illustrant la relation entre l'angle d'inclinaison et le rayon de virage à différentes vitesses (sur une pente constante) que l'angle d'inclinaison augmente de façon plus spectaculaire lorsque la vitesse augmente que lorsque le rayon de virage augmente. Ce changement est attendu à la lumière de la relation quadratique entre la force centripète et la vitesse décrite ci-dessus.

Figure 25 :

Angle d'inclinaison vs rayon du virage pour les 5 vitesses
pente=constante 25 degrés



Compte tenu de la relation quadratique, le principal facteur qui détermine notre inclinaison est notre vitesse. Plus notre vitesse est élevée, plus l'angle d'inclinaison doit être important pour rester en équilibre.

Plus la pente est escarpée, plus l'angle d'inclinaison doit être important pour rester en équilibre. Plus la vitesse est élevée, plus l'angle d'inclinaison doit être important pour rester en équilibre.

En résumé, le degré d'inclinaison que nous adoptons est tributaire de la situation. Les experts comme les débutants se trouveront dans des situations très variées.

ESSAYEZ-LE! Faites quelques descentes et restez à l'affût de l'angle d'inclinaison nécessaire pour rester en équilibre. Essayez des pentes, des vitesses et des rayons de virage différents et observez l'angle d'inclinaison requis. Ne changez qu'une seule des trois variables à la fois afin de tirer le meilleur parti de l'expérience.

[Retour à la section 4.12](#)