

SIMULATION ET MODÉLISATION DYNAMIQUES DU PASSAGE D'UNE RUPTURE DE PENTE PAR UN SKIEUR

ALPIN.

"Document produit et édité par le Département Sportif et Scientifique de la F.F.S"

Groupe de rédaction : B. des Déserts, C. Le Tourneau, M. Tavernier, C Barelle.

octobre 2000

Lors du passage d'une rupture de pente, le skieur est soumis à trois forces : le poids, la force de contact ski-neige et la force aérodynamique.

Le passage d'une rupture de pente se fait en trois phases : l'approche, la phase de vol et la reprise de contact avec la piste.

Ce document présente la synthèse de simulations réalisées à partir de l'équation de la dynamique du mouvement pour le passage d'une rupture de pente par un skieur alpin, lors d'une descente.

Il tient compte de différentes tactiques pour aborder la rupture de pente, ainsi que des postures du skieur au cours du saut.

Les résultats sont présentés sous la forme d'écarts de vitesse et de temps induits par les différences des méthodes adoptées par les skieurs.

I Rappels de définitions

La force aérodynamique est généralement représentée par deux composantes : la traînée

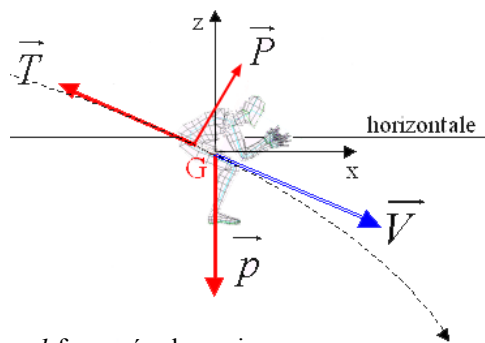


Figure 1 force aérodynamique exercée sur un skieur dont le centre de masse est animé d'une vitesse V.

Tr (projection de la force aérodynamique sur le vecteur vitesse), et la portance P_0 (perpendiculaire à la vitesse, et dirigée vers le haut).

En ski alpin, la portance reste 3 à 5 fois plus faible que la traînée, et sa direction fait qu'elle intervient peu dans l'équation du mouvement. Elle a été prise en compte dans ce travail, sous la forme d'une constante.

La traînée varie en fonction de trois paramètres, la section droite du skieur S, son coefficient de forme et d'état de surface C_x (coefficient de traînée aérodynamique) et sa vitesse V: $Tr = 0,5 \rho S C_x V^2$, où ρ est la masse volumique de l'air.

Les coefficients SC_x/m utilisés dans l'étude ont été obtenus à l'aide d'un modèle précédemment développé par la cellule recherche. Ce modèle utilise les caractéristiques de la posture d'un skieur pour donner le coefficient de freinage aérodynamique SC_x/m .

La force de contact ski-neige peut être décomposée en une réaction R et une force de frottement f. Cette dernière s'oppose à l'avancement du skieur pendant les phases de glisse ; elle s'écrit: $f = -k R$. Lors d'une surpression ou d'un amorti, cette force varie : la valeur de R augmente avec l'accélération d'un skieur en phase de réception. Cette accélération, perpendiculaire à la surface de contact, peut être de 3G. Pendant la réception, la pression exercée sur le sol par le skieur est le triple de la pression lors d'une phase de glisse.

II Présentation des simulations.

Les simulations ont été effectuées pour un mannequin de 72 kg, et 1,70 m, et sur une piste dont la rupture de pente est de 13° : la première pente descend selon un angle de 3° par rapport à l'horizontale, la deuxième selon un angle de 16° . La densité de l'air est fixée à 1.22 kg.m^{-3} . La vitesse d'approche du point de rupture est fixée à 25 m.s^{-1} , soit 90 km.h^{-1} .

Il est possible de passer une rupture de pente selon deux tactiques extrêmes : en amortissant ou en sautant (Figure 2).

Dans le premier cas, le skieur se replie à l'approche du point de rupture, et infléchit la vitesse de son centre de gravité vers le bas. La trajectoire durant la phase de vol est proche de la pente (Figure 2a).

Dans le deuxième cas, le skieur cherche à reprendre le contact avec la piste au plus tôt après le point de rupture, en sautant avant que la piste ne change de dénivelé (Figure 2b).

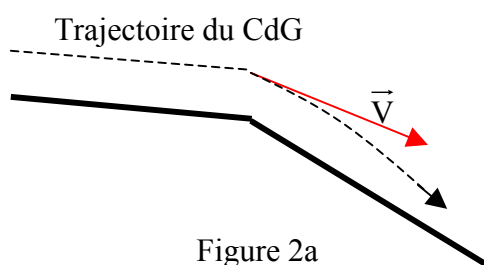


Figure 2a

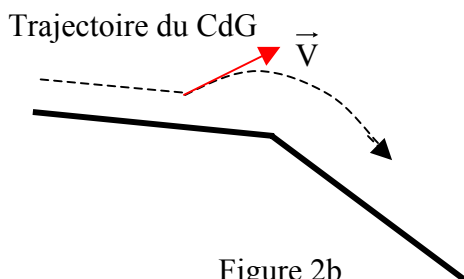


Figure 2b

Figure 2 : stratégies de passage d'une rupture de pente.

En ce qui concerne la posture au cours du saut, il faut remarquer que le skieur performant adopte une position de recherche de vitesse, limitant ainsi la traînée. Il doit cependant se relever avant d'atterrir, afin de

pouvoir amortir au moment de la prise de contact avec la piste.

Des simulations ont été effectuées afin de mettre en valeur les pénalités dues aux "fautes" de posture ou de stratégie. Ces pénalités sont données par rapport à un skieur de référence, qui semble faire le meilleur passage (Figure 3) : ce skieur effectue l'amorti maximum, c'est à dire que l'accélération de son centre de gravité est la plus forte possible, soit 1G. En fait, il se laisse tomber, en quelque sorte. La vitesse descendante du centre de gravité est de 3.13 m.s^{-1} au moment du passage au point de rupture, si l'on considère que l'amplitude du mouvement est de 50cm. Il a une posture minimisant la traînée pendant et après la phase de vol, soit un coefficient SCx/m de $0.002 \text{ m}^2/\text{kg}$. Il se redresse juste assez pour permettre un amorti de reprise de contact avec le sol, à la fin du vol :

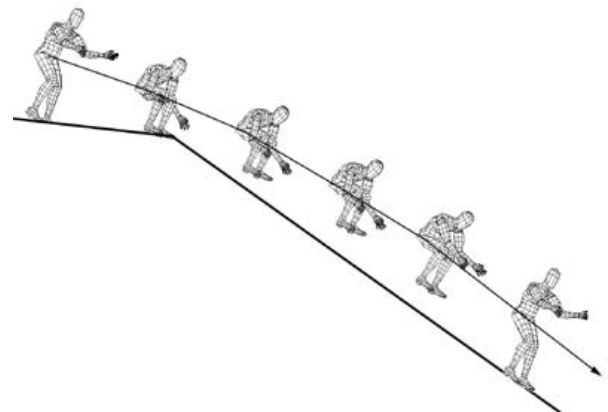


Figure 3 :

Cas optimal de passage de rupture de pente

Le passage de référence a été comparé à quatre cas :

- cas n°1 : « amorti faible » (Figure 4)
- cas n°2 : « amorti faible déployé »
- cas n°3 : « saut 1m avant la rupture, optimisé » (Figure 5)
- cas n°4 : « angle de départ nul »

Le cas n°1 est probablement plus facile à réaliser que la référence (une vitesse d'amorti deux fois plus faible)

Une simulation a été menée dans le cas n°2, où le skieur n'adopte pas une position de recherche de vitesse pendant le vol (coefficient SCx/m de $0.004m^2/kg$), et conservant la même vitesse d'amorti que « amorti faible ».

Le cas d'un skieur sautant de façon optimisée avant la rupture de pente, c'est-à-dire en sautant de manière à passer le plus près possible de la pente au point de rupture, a été simulé dans le cas n°3. Il adopte une position de recherche de vitesse dès la fin de son extension.

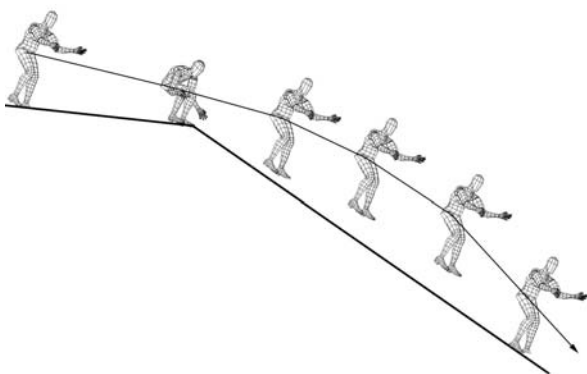


Figure 4

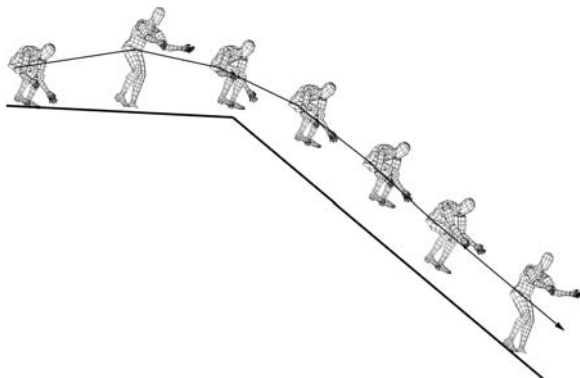
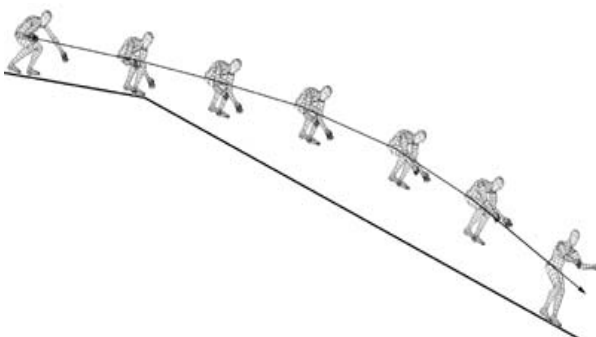


Figure 5

Dans le cas n°4, le skieur effectue mal son amorti d'approche, et aborde le point de rupture avec une vitesse tangente à la première piste.



Le cas précédent revient au cas de référence, avec un amorti nul.

D'autres cas ont été traités, en combinant les différences des cas précédents.

III Résultats

Les résultats sont présentés sous forme d'écart en vitesse et en temps à la distance de cinquante mètres du point de rupture de pente. Les vitesses V_{ref} et temps t_{ref} de passage du skieur de référence en ce point sont également donnés. Enfin, pour avoir une idée de la "violence" de l'amorti de réception, il est donné à chaque fois une hauteur h . Cette valeur est la hauteur de laquelle un corps tombe pour avoir une vitesse de chute perpendiculaire à la piste équivalente à celle du skieur, qui atterrit.

Dans le cas du départ à 1m de la rupture la vitesse perpendiculaire à la piste ascendante obtenue à la fin de l'extension est de $0,004m.s^{-1}$, c'est à dire extrêmement faible. Lorsque l'impulsion est forte, cette vitesse de saut est de $0,44m.s^{-1}$.

Pour un mauvais amorti d'approche, le skieur quitte la première pente sans infléchir sa direction.

Un faible amorti d'approche correspond à une vitesse perpendiculaire à la première piste de $1,5m.s^{-1}$.

La posture dépliée en vol implique un fort coefficient de freinage aérodynamique, de $0,004m^2/kg$ contre $0,002m^2/kg$ pour les postures de recherche de vitesse.

Dans chaque cas, l'angle de décollage du skieur (angle entre sa vitesse et la piste au moment de l'envol) est noté α_0 .

Résultats à 50 m

$$V_{\text{ref}} = 27.56 \text{ m.s}^{-1}$$

$$t_{\text{ref}} = 1.74 \text{ s}$$

$$h_{\text{ref}} = 0.46 \text{ m}$$

Stratégies	ΔV (m.s ⁻¹)	Δt (s)	h (m)	α_0
Référence	0	0	0.46	-7.1
Saut 1m avant la rupture, optimisé. (Fig. 5)	- 0.07	+ 0.18	1.42	+0.01
Faible amorti à l'approche.	+ 0.09	+ 0.18	1.00	-3.2
Angle de départ nul. (Fig. 6)	- 0.10	+ 0.18	1.73	0

Dans le cas où le skieur n'arrive pas à maintenir pendant son vol une posture de recherche de vitesse, la perte de temps est de 0,07 s, et le déficit de vitesse est de 0.8m/s

Pour un skieur qui donne une impulsion forte avant la rupture, la perte de temps est de 0,20 s, et le déficit de vitesse est de 0,12m/s

Enfin, si un skieur par mégarde retarde trop son impulsion et saute au point de rupture, la perte de temps est de 0,20 s, et le déficit de vitesse est de 0,13m/s

Dans tous les cas, la hauteur h est comprise entre 1m et 1.5m.

V Conclusions.

Selon les tableaux présentés ci-dessus, la meilleure stratégie consiste en un amorti maximal, et non en un saut avant d'aborder la rupture.

Il faut cependant se méfier de cette stratégie : si le skieur commence un tel amorti trop tôt, il se retrouve dans la configuration d'un amorti nul ($\alpha_0 = 0$), qui est l'une des solutions de passage les moins intéressantes.

De même, si un saut avant la rupture n'est pas très pénalisant s'il est bien exécuté, il le devient s'il est exécuté trop tard, sur le point de rupture par exemple. Si l'impulsion d'un saut est trop forte, cela nuit à la performance de façon importante, et il paraît difficile de doser cette impulsion.

Les écarts de performance ne sont pas très marqués dans certains cas, mais il ne faut pas oublier que la première place dans une

descente se joue parfois à quelques centièmes de secondes. Il ne faut pas négliger non plus la violence de l'atterrissage, qui crée une surpression retardant le skieur. Par surcroît, un skieur atterrissant violemment risque de se blesser.

Il est bon de remarquer que les pénalités dues aux différentes erreurs sont à peu près cumulables, en ce qui concerne les écarts de vitesse. Pour les écarts de temps cela n'est pas vrai : en cumulant deux défauts, les écarts en temps ne sont pas additionnés. La pénalité est moins importante que cela.

En définitive, il apparaît que le paramètre dont dépend principalement la performance est l'angle de décollage α_0 .

N'oublions pas que les performances brutes du skieur virtuel de référence (V_{ref} , t_{ref} , h_{ref}) ne sont pas forcément précises, mais seulement un bon ordre de grandeur : la précision du travail présenté ici concerne les rapports entre les différents écarts de performance, et non la performance en elle-même.