

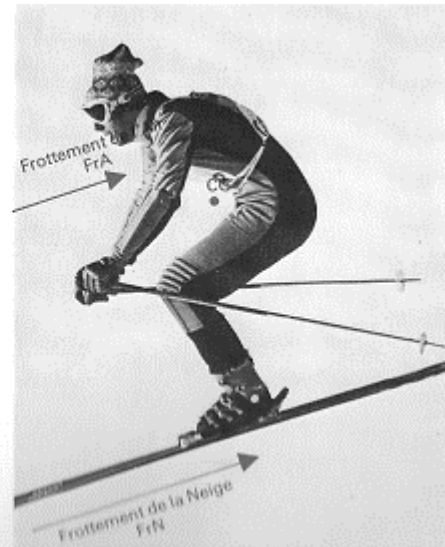
3 Une pensée systémique

L'image 2, est empruntée à un ouvrage paru en 1979¹. Elle montre que le centre de gravité du skieur qu'elle représente est à l'extérieur de son corps, lorsqu'il adopte la posture qu'elle illustre, ce qui est déjà hautement éducatif, et transpose graphiquement l'inventaire que le texte qui la commente, fait des forces que le contexte physique exerce sur le système corps polyarticulé du skieur-skis lorsqu'il glisse en trace directe face à la pente, ce qui correspond à une situation extrêmement rare à ski alpin, et tente aussi de le faire lors de la pratique la plus courante, c'est-à-dire chaque fois que le skieur crée

une force déviatrice avec laquelle il modifie la direction du CG_{global} du système dont il fait partie (image 3). Ce texte indique justement la conséquence qu'a la somme des forces motrices et des forces résistantes sur les variations de la vitesse du système lorsqu'il descend en suivant la ligne de plus grande pente², aborde la dynamique du corps polyarticulé du skieur



Image 1



en faisant référence à l'inertie de ses configurations segmentaires, omet de définir précisément les techniques corporelles qu'il utilise pour provoquer cette déviation et n'explique aucunement leurs causalités mécaniques (moments).

Cette publication est exemplaire pour une époque où l'analyse 3D des mouvements des skieurs n'était pas assisté par le calcul informatisé et les captures vidéo des techniques corporelles dont ils usent n'étaient pas numériques. Parce que leurs auteurs nous font découvrir, en faisant références à des conceptions de la science physique, la nature essentiellement dynamique de la pratique du ski alpin, en montrant que le skieur modifie incessamment les positions relatives de ses segments, pour alterner des changements de directions tout en restant "debout", afin de satisfaire son désir. Ils évitent ainsi d'induire dans l'esprit de ses lecteurs, une pensée statique simplifiant tellement le fonctionnement de la pratique, qu'elle induit des obstacles épistémiques³ provoquant des interprétations erronées des effets mécaniques qu'il produit afin de se piloter.



Image 2

¹ Larson O. et Major J., 1979, *Le ski des champions*, Librairie Arthaud, Paris.

² Nous étudierons, au cours de cet article, les différentes composantes de la force résistante limitant finalement la vitesse du skieur.

³ Bachelard G., 1928-2000, *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin. *L'épistémologie est le champ scientifique qui s'occupe de l'étude critique des sciences et de la connaissance scientifique. Un obstacle épistémique est une croyance qui empêche d'objectiver une connaissance. Bachelard démontrait dans cet ouvrage, qu'on « connaît contre une connaissance antérieure. »*

« Le ski des champions », c'est son titre, participe ainsi à l'apprentissage d'une conception systémique⁴ du ski alpin, qui évite de croire qu'il suffirait de réduire les forces résistantes pour que le skieur devienne performant. Ce qu'une observation incorrecte du bilan des forces exercé par le contexte physique sur le système corps polyarticulé du skieur-skis, qu'illustre l'image 2 couramment reproduite dans les manuels, pourrait induire. Ce qui n'est manifestement pas le cas. Car les lois de la physique montrent que les coefficients de frottement et de formage neige→skis sont modifiés par les variations des angles de carre, les forces résistantes le sont par les variations de l'interaction neige↔skis et air→système, qui dépendent elle-même du rayon de la trajectoire du CP neige→skis...

3.1 Par analogie au sport automobile

Pour éviter d'emblée que le piège réductionniste⁵ n'altère la capacité du lecteur à se représenter la dynamique du système en 3D, nous lui proposons de penser le fonctionnement efficient du système corps polyarticulé du skieur-skis-contexte physique, par analogie au sport automobile.

Si les voitures de sport actuelles ont des systèmes de freinage très sophistiqués, avec des disques en carbone supportant de très hautes températures, de très gros pneumatiques résistant à l'abrasion, une assistance ABS limitant leur glissement sur la route..., c'est pour permettre au pilote de dissiper une énorme quantité d'énergie cinétique en chaleur, afin de freiner très fortement son véhicule sur une très courte distance. Pour qu'il conserve la vitesse la plus élevée, le plus longtemps possible, avant qu'il soit nécessaire de diminuer sa vitesse avant le changement de direction suivant. Et si elles ont des moteurs très puissants, c'est pour pouvoir transformer très rapidement l'énergie chimique contenue dans son carburant, pour que le conducteur puisse l'accélérer le plus fort possible sur la distance laisser disponible par les courts espaces nécessaire à son freinage, grâce à ses très gros pneumatiques, à une assistance limitant leur patinage... afin d'augmenter au maximum sa vitesse avant le prochain freinage. Alors, même si ce comportement est anti écologique, ce n'est pas en effleurant les pédales de frein et d'accélérateur que le coureur automobile obtient la vitesse moyenne la plus élevée possible. Car seul l'intervalle de temps mis pour parcourir le trajet imposé détermine son classement⁶.

Dans le même but, le compétiteur à skis choisit proactivement, avant chaque changement de direction du parcours imposé par la compétition qu'il désire gagner, parmi les modes de déclenchement décrit dans cet article, celui qui lui permettra de l'effectuer le plus rapidement, en fonction des caractéristiques mécaniques et géométriques de ses skis et des caractéristiques géométriques de ce tracé (7.10.12.7). La qualité de sa technicité réside dans la pertinence du choix inconscient des techniques corporelles qu'il va utiliser pour modifier judicieusement la direction de l'interaction neige↔skis du système dont il fait partie, relativement à la position de son CG_{global} . Il sera judicieux chaque fois que la quantité d'énergie potentielle qu'il transforme inmanquablement en chaleur lorsqu'il fait varier ses angles de carre et modifie la répartition de l'interaction neige↔skis, pour provoquer le changement de direction du CG_{global} du système, sera compensée par l'augmentation de son énergie cinétique engendrée par la trajectoire que ses manœuvres produisent. En effet, parmi les trajectoires que sa technicité rend possible dans ce contexte, l'une d'elles aura un meilleur bilan énergétique que les autres.

Son but n'est donc pas de laisser "vivre ses skis", pour qu'en diminuant la grandeur de la force ressentie sous son pied, il ait l'illusion d'éviter de freiner. Parce que la quantité d'énergie potentielle que le

⁴ Une conception systémique dissocie le fonctionnement d'un ensemble en éléments pour les analyser en les décontextualisant, afin de reconnaître les lois qui les régissent ou en construire de nouvelles. En prenant garde à ce que cette dissociation ne fasse perdre à chaque partie le sens du tout. Afin de pouvoir les recontextualiser justement.

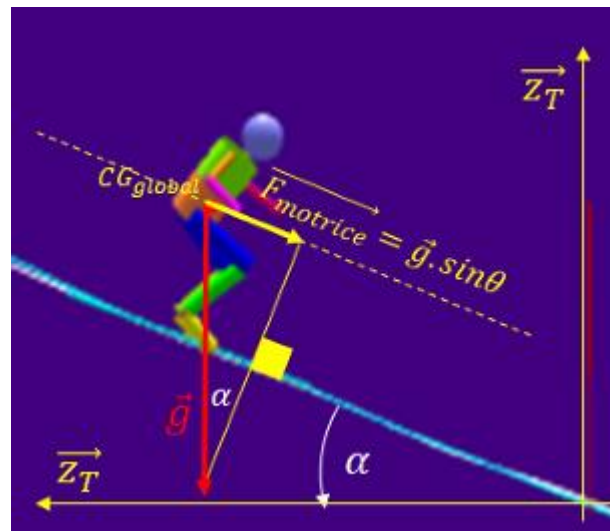
⁵ Le réductionnisme est une façon de voir le monde en réduisant les phénomènes complexes à leurs composants plus simples et à considérer ces derniers comme plus fondamentaux que les phénomènes observés.

⁶ Toute analogie avec le "tirer droit, virer court" d'antan est erronée, parce que la conception orientant cette technicité tenait compte de la trajectoire des skis observable en non de celle du CG_{global} du système, invisible.

système dissipe en chaleur dans le manteau neigeux, qui n'est donc plus disponible pour être transformé en énergie cinétique (vitesse), correspond à un travail résistant (6.13.1), dont la grandeur est égale au produit (multiplication) de la grandeur de la force résistante de frottement et de formage du manteau neigeux, qui est une composante de l'interaction neige↔skis et qui dépend aussi des grandeurs des angles de carre et de l'état du manteau neigeux, par la longueur du chemin parcouru par le lieu où elle s'exerce : le centre des pressions neige→skis du système (trajectoire). Mais de "charger" opportunément son ski extérieur pour engendrer une trajectoire performante. De ce point de vue, le dilemme du compétiteur réside donc dans la dialectique suivante : vaut-il mieux que j'appuie fortement (frottement) sur une distance courte ou faiblement sur une distance plus longue, pour générer la trajectoire qui me procurera la vitesse moyenne la plus grande possible ?

3.2 L'action de la gravité

Saisissez "accélération skieur" sur votre navigateur internet. Parmi les études les plus élaborées, vous obtiendrez le modèle reproduit sur le dessin 3. C'est-à-dire une représentation niant l'essence même de la pratique du ski alpin : les techniques corporelles avec lesquelles le skieur modifie les positions relatives de ses segments afin de se piloter, en alternant des phases d'accélération et de décélération générant un plaisir semblable à celui que les humains ressentent lorsqu'ils font de la balançoire, ou apaisant les bébés quand ils sont bercés... en ce qui concerne les skieurs de loisir, ou pour éprouver la satisfaction de s'être faufilé entre les piquets du tracé d'une épreuve sportive dans le temps minimum, pour les compétiteurs.



Dessin 1

Certes, dans la situation rarissime où la trajectoire du CG_{global} du système corps polyarticulé du skieur-skis est strictement parallèle à la ligne de plus grande pente, c'est-à-dire lorsque ses skis glissent dans la direction de celle-ci, alors que la configuration des segments du corps polyarticulé du skieur est strictement constante : $\vec{F}_{motrice} = \vec{g} \cdot \sin\alpha$ Autrement dit, pratiquement jamais !

3.3 Modèle simpliste et évaluation de la performance d'un skieur alpin

Servons-nous de ce modèle simpliste dominant qui nous a longtemps servi de référence, pour montrer comment la représentation statique de la pratique du ski alpin qu'il induit, est susceptible de fausser les raisonnements d'un éducateur sportif cherchant à comprendre le fonctionnement de ce système, pour objectiver les évaluations qu'il fait du skieur qu'il observe, afin de le conseiller justement, dans le but d'améliorer sa technicité.

Alors, définissons par exemple une situation conforme à celui-ci (dessin 4). Dans lequel le CP neige→skis d'un système corps polyarticulé du skieur-skis est situé au point A, sur le plan incliné d'une piste enneigée $o, \vec{x}_{pp}, \vec{y}_{pp}, \vec{z}_{pp}$, dont l'angle de la ligne de plus grande pente est α Nous allons utiliser les lois de la physique que nous étudions ci-dessous, pour connaître de ce point de vue, la vitesse avec laquelle son CG_{global} passe en B', après avoir effectué la trace directe en traversée A'B' et en C', après avoir parcouru une trace directe face à la pente A'C' ? Et les intervalles de temps nécessaires pour atteindre chaque objectif ?

Pas de panique ! Si les mathématiques vous rebutent, faites quand même l'effort de suivre le cheminement de notre raisonnement, sans vous attarder sur le développement des équations. Les résultats principaux sont écrits en caractères en gras. Il vous suffit de les comparer pour parvenir à nos conclusions, que nous avons écrites elles aussi en caractères en gras, à la fin de ce chapitre.

3.3.1 Qu'est-ce que l'énergie cinétique d'un système ?

Pour un système se déplaçant en translation, c'est-à-dire dont tous les éléments se déplacent sur des droites parallèles, à la même vitesse et dans un référentiel donné, l'énergie cinétique de son CG_{global} est : $E_c = \frac{1}{2} m \cdot v^2$ Avec E_c en Joule, m sa masse en kg et v sa vitesse en mètres/seconde par rapport à ce référentiel.

3.3.2 Qu'est-ce que l'énergie potentielle de pesanteur d'un système ?

L'énergie potentielle de pesanteur d'un système est l'énergie conférée par la position du CG_{global} de ce système dans le champ de gravité terrestre. Autrement dit, son altitude par rapport à une position d'origine. Elle s'exprime par la relation $E_p = m \cdot g \cdot h$ Avec E_p en Joule, m sa masse en kg, h la différence d'altitude par rapport à une origine, en mètres.

3.3.3 Qu'est-ce que l'énergie mécanique d'un système ?

L'énergie mécanique E_m d'un système est la somme de son énergie cinétique E_c et de son énergie potentielle E_p Soit $E_m = E_c + E_p$ Toutes ces énergies s'expriment en Joules.

$$\text{Donc } E_m = E_c + E_p = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h \quad (1)$$

3.3.4 La conservation de l'énergie d'un système isolé

D'après la première loi de Newton ou "principe d'inertie", l'énergie mécanique E_m d'un système est constante, si aucune force, ni aucun moment ne s'applique sur lui. Il est alors qualifié d'isolé ou de conservatif. Soit $E_m = E_c + E_p = cte$

$$\text{Son état initial est : } E_m = E_{ci} + E_{pi} \quad \text{Son état final est : } E_m = E_{cf} + E_{pf}$$

Donc $E_{ci} + E_{pi} = E_{cf} + E_{pf} \quad (1) \Rightarrow (E_{ci} - E_{cf}) + (E_{pi} - E_{pf}) = 0 \Rightarrow \Delta E_c + \Delta E_p = 0 \Rightarrow \Delta E_c = -\Delta E_p$
Ce qui veut dire qu'il existe des transformations mutuelles d'énergie potentielle en énergie cinétique au sein d'un système, ou *vice-versa*.

Étudions à présent cet exemple dont le dessin 4 transpose graphiquement l'énoncé, en nous référant aux quatre lois définies ci-dessus. Pour un système dont le CP neige → skis glisse sur le plan incliné de la piste, avec une posture constante du corps polyarticulé du skieur (dessin 3). Son CG_{global} se déplace donc sur une trajectoire parallèle à son CP neige → skis, les déplacements de ces deux points remarquables s'effectuent dans des plans verticaux formés par $AA'C'C$ dans le cas 1 et par $AA'B'B$ dans le cas 2. Les trajectoires des déplacements $A'B'$ et $A'C'$ de son CG_{global} définissant un plan parallèle au plan de la piste, nous n'analysons que la trajectoire de ce dernier.

Avec la vitesse initiale de son CG_{global} $v_i = 0$, le point A comme origine de ses déplacements, $m = 80 \text{ kg}$, $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, $AC = A'C' = 20 \text{ m}$, l'angle de plus grande pente $\alpha = 30^\circ$, donc $h = 20 * \sin 30 = 20 * 0,5 = 10 \text{ m}$

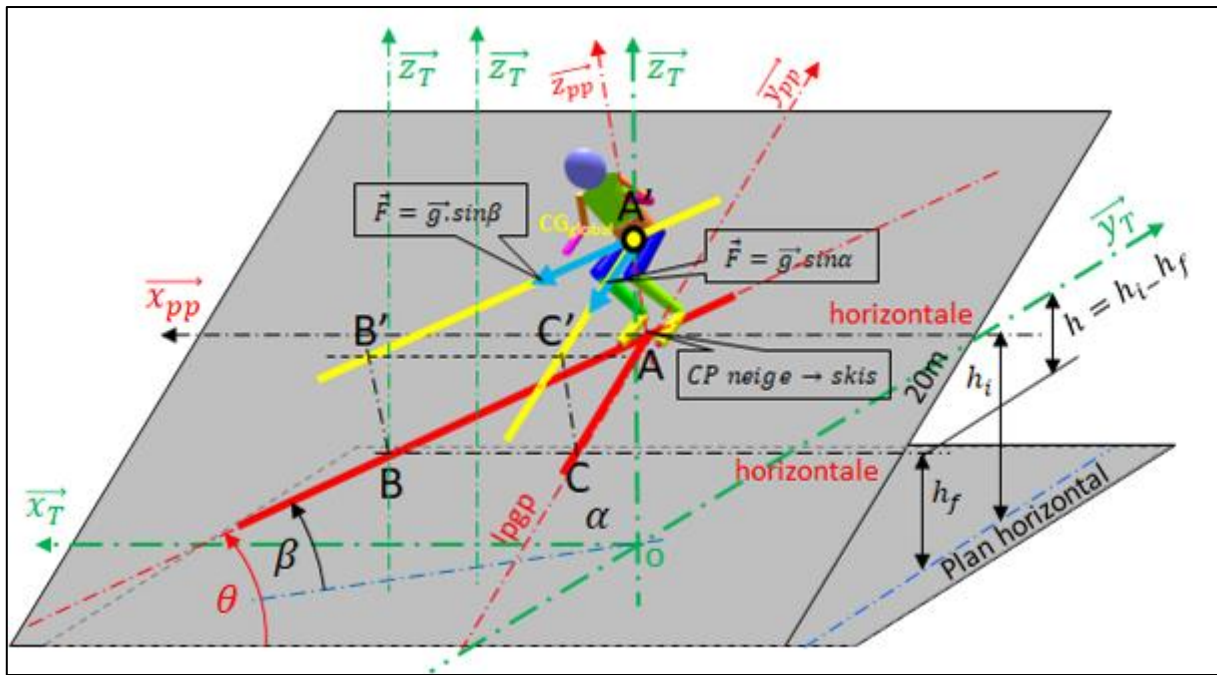
$$\text{La grandeur de l'énergie mécanique du système à l'état } i \text{ est : } E_m = E_{ci} + E_{pi} = \frac{1}{2} m \cdot v_i^2 + m \cdot g \cdot h_i \quad (1)$$

Dans le cas 1,

$$\text{-l'état initial } i \text{ est : } E_{ci} = 0 \text{ car } v_i = 0 \Rightarrow E_m = E_{pi} = m \cdot g \cdot h_i \Rightarrow E_m = 80 * 9,81 * 10 = 7848 \text{ J} \quad (2)$$

$$\text{-l'état final est : } E_{pf} = 0 \text{ car } h_f = 0 \Rightarrow E_m = E_{cf} = \frac{1}{2} m \cdot v_f^2 \Rightarrow v_f = \sqrt{\frac{2 \cdot E_m}{m}}$$

$$\text{Avec } E_m = 7848 \text{ J} \quad (2) \quad v_f = \sqrt{\frac{2 \cdot 7848}{80}} = 14,01 \text{ m/s} \text{ ou } 50,45 \text{ km/h}$$



Dessin 2

Dans le cas 2, il glisse en travers du plan de la piste, entre A' et B' alors que la trajectoire de son CG_{global} et donc celle de son CP neige→skis forme un angle $\theta = 30^\circ$ avec la ligne de plus grande pente.

Comme les paramètres du problème sont identiques : $m = 80\text{kg}$, $g = 9,81\text{m/s}^2$ et $h = h_1 - h_2 = 10\text{m}$, E_m est identique donc v_f aussi.

Si l'on ne tient pas compte du travail des forces de frottements (système isolé), à la fin d'une trace directe comme à la fin d'une traversée, la vitesse du système est identique.

3.3.5 Quel est la grandeur du travail résistant exercé par le contexte physique sur le système

Une force produit un travail quand elle déplace son point d'application dans la direction de sa droite d'action. La grandeur du travail qu'elle produit est : $W_{\vec{F}} = \vec{F} \cdot d$ (a)

La grandeur de la quantité d'énergie mécanique E_m d'un système isolé est constante. Si elle ne l'est pas, c'est que la que la somme des forces et des moments que son contexte physique exerce sur lui n'est pas nulle. Parce qu'alors, le système diffuse de d'énergie dans son contexte physique, sous forme de chaleur. Ainsi : $E_m = E_{cf} + E_{pf} - \overline{W_{\vec{F}}}$ dans le cas où un travail résistant est produit par une force de frottement s'exerçant dans le sens contraire de son déplacement. Le signe serait positif s'il s'agissait d'une force d'entraînement s'exerçant par friction dans le même sens.

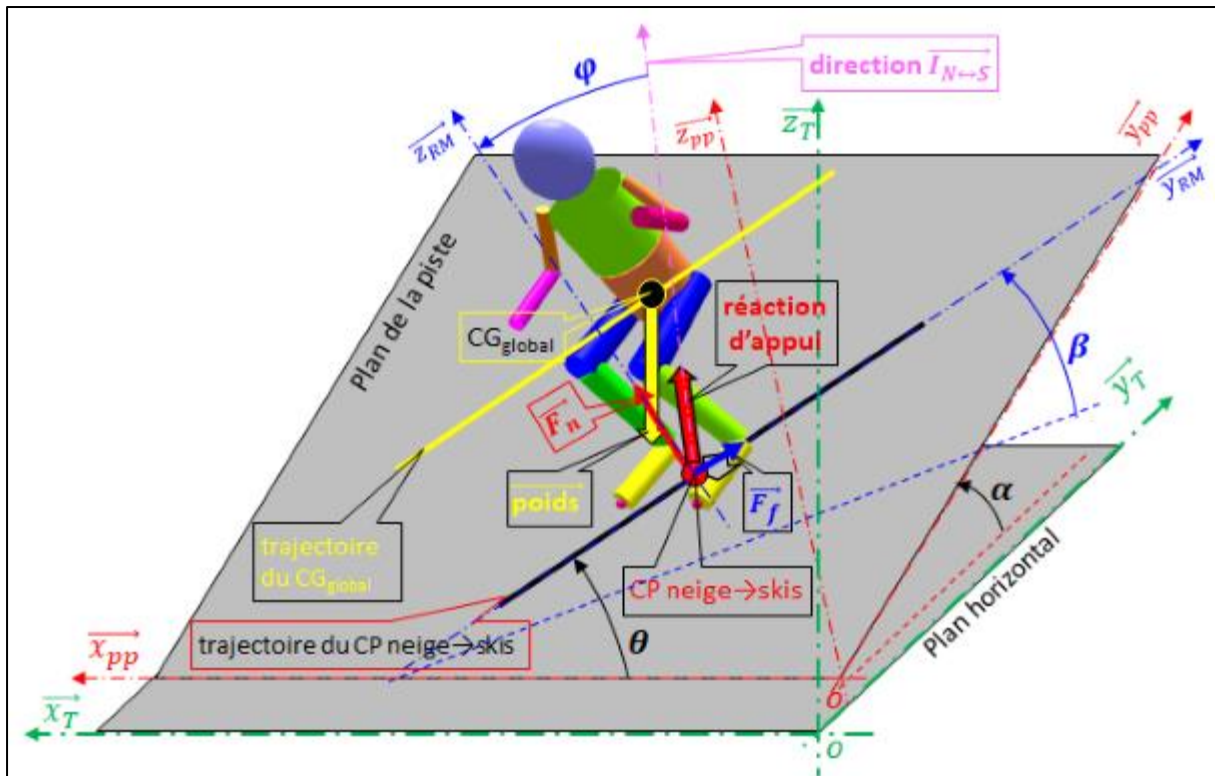
$$\text{Soit } E_m = E_{cf} + E_{pf} - \vec{F}_f \cdot d \text{ (a)}$$

Ce sont donc l'intensité de la force de frottement et de formage du manteau neigeux \vec{F}_f et la longueur d du déplacement du CP neige→skis du système qui déterminent la grandeur du travail résistant qu'il dissipe sous forme de chaleur le manteau neigeux⁷.

3.3.6 Quelle est l'intensité de la force de frottement et de formage du manteau neigeux

Nous avons transposé graphiquement notre propre modélisation du système corps polyarticulé du skieur-skis-contexte physique en utilisant le dessin 5, pour attirer l'attention du lecteur sur le fait que

⁷ Nous ne tenons pas compte de la force résistante de frottement air→système. Chaque fois qu'il sera question de cette force résistante, nous proposons au lecteur de se référer à la thèse de Barelle C., 2003, Analyse cinématique de la performance à partir de simulations des stratégies gestuelles mises en œuvre par les skieurs alpins, Lyon 1.



Dessin 3

seuls le champ gravitaire de la terre et le manteau neigeux interagissent avec le système corps polyarticulé du skieur-skis. Ce qui se traduit vectoriellement par son poids $\vec{P} = m \cdot \vec{g}$, que le champ de gravité applique systématiquement sur son CG_{global} et la réaction d'appui neige↔skis, que le manteau neigeux exerce sur lui au CP neige→skis. Cette dernière étant la résultante de \vec{F}_n , la force perpendiculaire ou normale qui correspond à la somme des appuis que le skieur ressent sous chacun de ses pieds, et de \vec{F}_f , la somme des forces de frottement neige→ski, qui tend à faire basculer le système en avant, en freinant chacun de ses skis. Nous étudierons plus en détail le phénomène physique engendré par le contact entre deux solides aux paragraphes 7.5.1 et 7.5.2. Mais, finalement, \vec{F}_f la force de frottement neige→skis, est le produit de la force normale \vec{F}_n par le coefficient de frottement neige→ski $\mu_{N \rightarrow S}$

$$\text{Soit : } \vec{F}_f = \vec{F}_n \cdot \mu_{N \rightarrow S}$$

Intégrons maintenant dans notre exemple, la force de frottement et de formage du manteau neigeux \vec{F}_f , afin de calculer la grandeur du résistant que le système dissipe en chaleur dans le manteau neigeux, au cours de chaque déplacement rectiligne qu'effectue le skieur représenté sur le dessin 4. L'un en trace directe face à la pente (cas 1), l'autre au cours d'une traversée formant un angle $\theta = 30^\circ$ avec \vec{x}_{pp} l'axe horizontal du repère R_{pp} (cas 2).

Dans le cas 1 : Le CP neige→skis du système glisse en suivant la ligne de plus grande pente, la longueur de son déplacement est donc $AC = 20m$. Sa masse est $m = 80kg$ (3.3.4)

Donc, comme la distance entre le CG_{global} et le CP neige→skis est constante, l'interaction du système avec le manteau neigeux est elle-même constante (3.3, dessin 3) : $\vec{I}_{N \rightarrow S} = \vec{P} = m \cdot \vec{g}$ Donc l'intensité de la force normale neige→skis est : $F_n = m \cdot g \cdot \cos\alpha$ Soit : $F_n = 80 * 9,81 * 0,866 = 679,64N$

Ski "à plat", le coefficient de frottement neige→ski est : $\tan\varphi_{\text{à plat}} = 0.01^8$

⁸ Caron O., 2005, Carver comme les champions, Éditions Amphora.

Donc en glissant face à la pente $\vec{F}_f = 679,64N * 0.01 = 6,80N$ et le travail effectué par le déplacement de \vec{F}_{f1} est : $W_{\vec{F}_f} = \vec{F}_f \cdot d$ Soit : $W_{\vec{F}_{f1}} = 6,80 * 20 = 136J$

Dans le cas 2 :

Nous avons montré que $\sin\beta = \sin\alpha * \sin\theta$, θ étant l'angle formé par la tangente à la trajectoire au CP neige→skis \vec{y}_{RM} et \vec{x}_{pp} l'axe horizontal du repère R_{pp} (dessin 5). Donc $F_n = m * g * \cos\beta$

Avec $\sin\alpha = 0,5$ (30°), $\sin\theta = 0,5$ (30°) : $\sin\beta = 0,5 * 0,5 = 0,25 = \arcsin 0,25 = 14,48^\circ$ (4)
 $\cos 14,48^\circ = 0,968$ Alors : $F_n = 80 * 9,81 * 0,968 = 759,69N$

Au service des recherches avancées des skis Rossignol, les techniciens avaient l'habitude de considérer qu'il existe un facteur 10 entre φ ski "à plat" et φ sur la carre (formage, 7.5.2). Donc $\varphi_{sur\ carre} = 0.1$

Donc, $\vec{F}_{f2} = 759,69N * 0.1 = 75,97N$

La distance du déplacement du CP neige→skis est $d = AB = AC / \sin\theta$ Avec $\sin\theta = \frac{AC}{AB} \Rightarrow AB = \frac{AC}{\sin\theta}$
 et $\sin\theta = 0,5$, $AB = \frac{20}{0,5} = 40m$ (3)

Donc, le travail effectué par le déplacement en traversée de \vec{F}_f est : $W_{\vec{F}_f} = \vec{F}_f \cdot d$

Soit : $W_{\vec{F}_{f2}} = 75,97 * 40 = 3038,80J$

Dans le cas 1, la vitesse en du skieur en C est : $v_{f1} = \sqrt{\frac{2 \cdot E_{m1}}{m}}$ avec $E_m = 7848 - 136 = 7712J$

Donc $v_{f1} = \sqrt{\frac{2 \cdot 7712}{80}} = 13,89m/s$ soit 50km/h

Dans le cas 2, $E_m = 7848 - 3038,80 = 4809,20J$

Donc $v_{f2} = \sqrt{\frac{2 \cdot 4809,2}{80}} = 10,96m/s$ soit 39.47km/h

Comme $d_f = d_i + v_i \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$ avec $d_i = 0$ et $v_i = 0$ donc $v_i \cdot t = 0$ et $AC = 20m$ (3.3.4) $d_f = \frac{1}{2} a \cdot t^2$

Soit : $t = \sqrt{\frac{2 \cdot d_f}{a}}$ avec $a = g \cdot \sin\alpha$ $t = \sqrt{\frac{2 \cdot d_f}{g \cdot \sin\alpha}}$

Dans le cas 1, le temps mis par le skieur pour parvenir en C avec $AC = d_f = 20m$ et $\sin 30^\circ = 0.5$

$t_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot 20}{9,81 \cdot 0,5}} = 2,95s$

Dans le cas 2, le temps mis par le skieur pour parvenir en B avec $AB = d_f = 40m$ (3), $a = g \cdot \sin\beta$

$t = \sqrt{\frac{2 \cdot d_f}{g \cdot \sin\beta}}$ comme $\beta = 14,48^\circ$ (4) = 0.25 $t_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 40}{9,81 \cdot 0,25}} = 5,71s$

On peut donc déduire

Bien qu'étant approximatifs, ces calculs pointent que **la grandeur du travail de la force de frottement est le paramètre qui influence le plus le temps mis pour parcourir une trajectoire rectiligne de pente constante**. Je pourrai utiliser leurs résultats pour justifier ma réponse intuitive à la question posée par l'entraîneur, en affirmant doctement que plus la trajectoire d'un skieur se rapproche de la ligne de plus grande pente et plus il a ses skis "à plat", plus il accélère. Mais en disant cela, j'enforcerai des portes ouvertes. Car on y sait ça ! Le danger que représente une réduction simpliste du fonctionnement complexe du système corps polyarticulé-skis-contexte physique, c'est qu'elle peut justifier un discours

⁹ Roux F., 2000, déjà cité.

prônant l'inutilité de la recherche et de l'apprentissage de savoirs scientifiques, pour enseigner et entraîner le ski alpin.

La modélisation de notre pratique transposée sur le dessin 3 du paragraphe 3.3.4, est une idéalisation empirique approximative. En la diffusant sans ambages dans le monde des skieurs, les adhérents de cette conception imposent un point de vue statique du ski alpin, alors que, comme toutes les activités physiques, elle est essentiellement dynamique. « *Ce qui est bien connu est en général, pour cette raison qu'il est bien connu, non connu.*¹⁰ » C'est donc pour continuer d'apprendre contre le bien connu¹¹, que nous poursuivons nos recherches. Parce que nous voulons savoir pourquoi les champions combinent similairement les techniques corporelles semblables qu'ils ont sélectionnées, pour manœuvrer leurs skis¹² afin de se piloter ? En regard du calcul simpliste que nous venons d'effectuer et en première approximation, nous aurions tendance à répondre que : s'ils mettent en œuvre celles-ci plutôt que d'autres, avec ces skis-là, pour glisser sur ce type de manteau neigeux là, c'est qu'elles leurs permettent de minimiser la dissipation de l'énergie potentielle que leur a transmise une remontée mécanique, lorsqu'ils la transforment en énergie cinétique, c'est-à-dire en vitesse, pour parcourir, dans le minimum de temps, le tracé imposé par la compétition à laquelle ils participent. Mais pour comprendre pourquoi celles-ci ont un meilleur rendement que les autres, il ne faut pas nier leur existence. Puis dépasser le stade de la réflexion simpliste et empirique, pour identifier précisément chacune d'elles, afin de les étudier individuellement de manière à comprendre quelles sont ses conséquences mécaniques. Mais sans la dissocier totalement de l'intrication dont elle fait partie. De façon à investiguer la complexité phénoménale de leurs combinaisons en les réassociant. Car « *la connaissance des parties ne suffit pas à la connaissance du tout.*¹³ » Élaborer une pensée complexe explicitant la pratique du ski alpin, consiste donc à joindre à la connaissance pluridisciplinaire du système corps polyarticulé du skieur-skis-contexte physique, celles de ses parties, pour décrypter la métaphysique de nos ressentis, afin d'élaborer les savoirs explicitant leurs interactions, de manière à devenir capables de répondre le plus précisément possible à la question qui nous est posée.

Un autre aspect positif de ce type de calcul approximatif, c'est qu'il indique qu'en terme de performance, on ne peut raisonner en évoquant seulement les grandeurs des forces d'appui ressenties sous ses pieds. Mais en évoquant les conceptions scientifiques permettant de se représenter ce que sont la grandeur du frottement neige→skis et la quantité d'énergie dissipée sous forme de chaleur dans le manteau neigeux, que nous avons étudié précédemment. Pour conjecturer s'il vaut mieux appuyer faiblement sur une grande longueur ou fortement sur une

¹⁰ En référence à Hegel G., 2006, *Phénoménologie de l'esprit, Préface, §31, tr. fr. B. Bourgeois, Vrin.*

¹¹ Bachelard G., 1934-1967, *La formation de l'esprit scientifique, Vrin.*

¹² Roux F., 2000, déjà cité.

¹³ Morin E., 2005, *Introduction à la pensée complexe, Paris, Éditions du Seuil.*