

Approche scientifique  
de l'apprentissage du  
ski :  
de la perception à  
l'action... »

# Performance sportive =

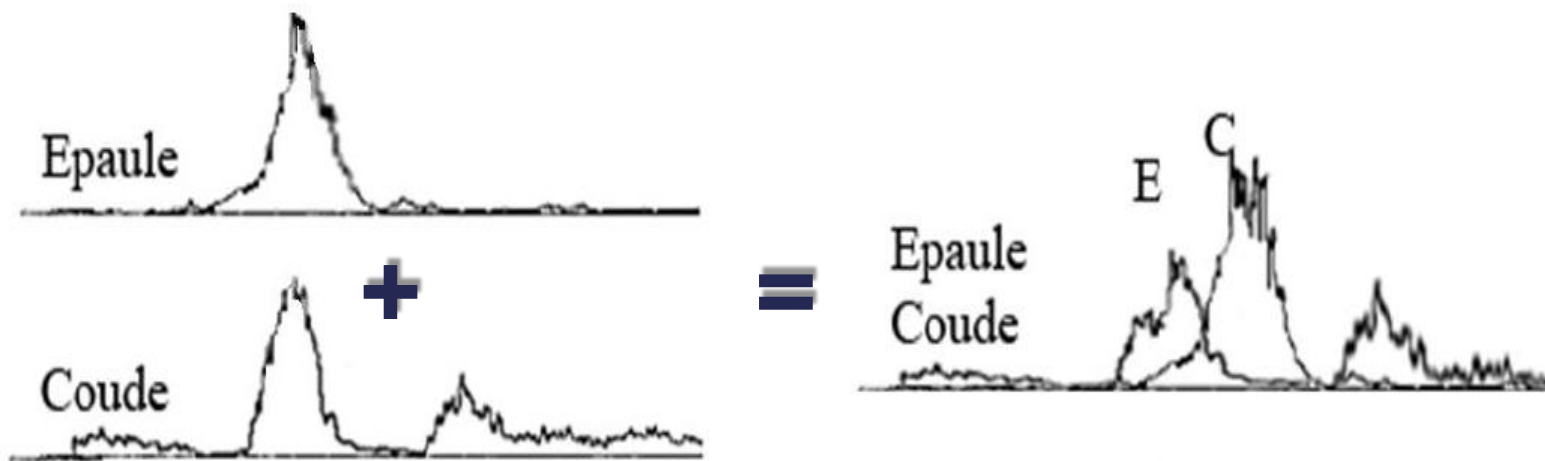
- a. (biomécanique)
- + b. (physiologie)
- + c. (psychologie)
- + d. (sociologie)
- + ...



...modèles souvent inapplicables car malgré leur précision, trop restrictifs par rapport à la réalité de la pratique.

Coordination : Agencement des parties ou d'un tout selon un plan logique, pour une fin déterminée.

$$1 + 1 = \dots 1$$



# Mettre en mouvement ?.....

## Mot intrinsèque à la connaissance

- besoin de nouvelles connaissances

## Motivation externe

- investissement pour en retirer un intérêt extérieur à la pratique elle même.

## Amotivation

- pas de relation entre ce qui est mis en place et le résultat.

## Mot intrinsèque à l'accomplissement

- se sentir compétent dans un domaine

Autonomie

## Régulation introjectée

- ajuste en fonction des contraintes extérieures

## Mot intrinsèque à la stimulation

- plaisir issu des sensations.

## Régulation identifiée

- culpabilité en cas de non investissement

3

Besoin de compétence.

2

Besoin d'autonomie.

1

Besoin d'affiliation (appartenance à un groupe).

Ski Alpin  
Ski nordique  
Freestyle  
Snowboard  
....

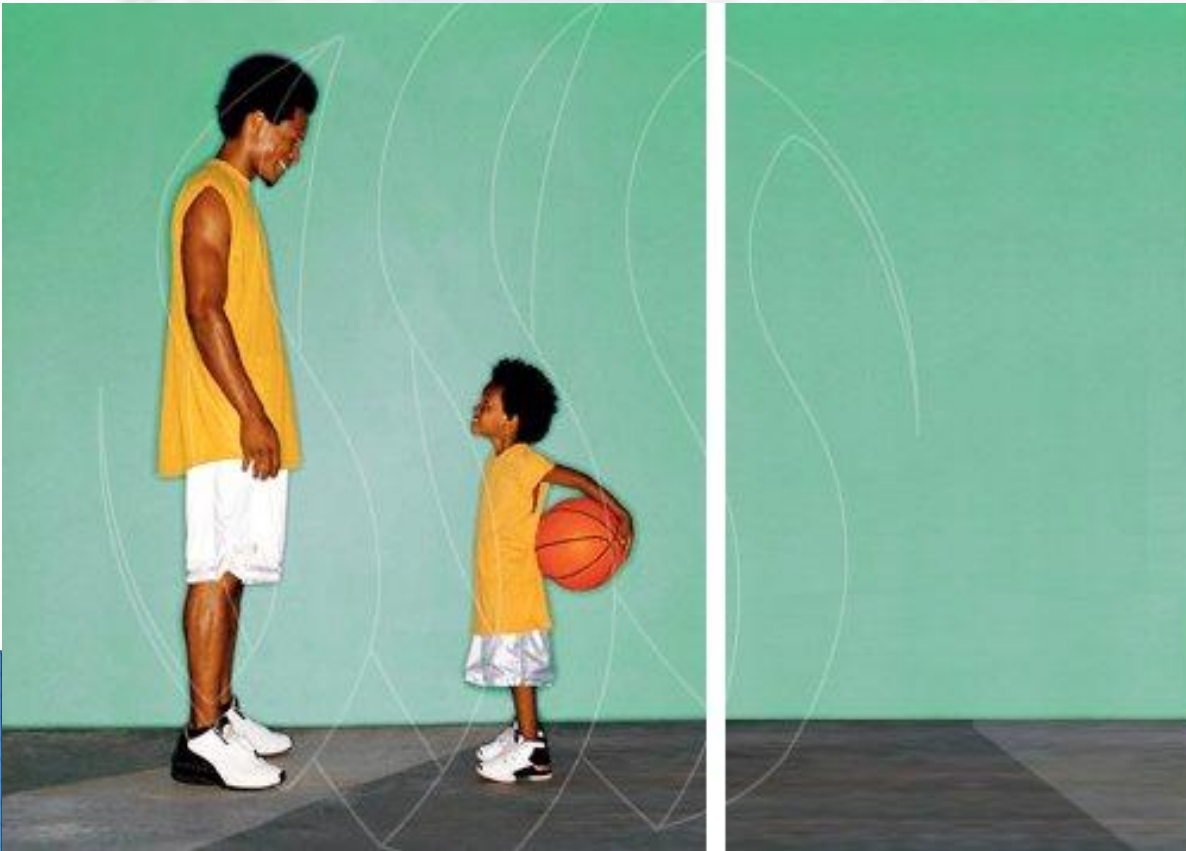
***Quelle logique  
d'enseignement  
et  
d'entraînement  
?***



# Apprendre par l'imitation ?



# Apprendre par l'imitation ?



« L'enfant  
n'est pas un  
adulte  
miniature... »

(Edouard Claparède  
1937)



# *Apprendre par l'imitation ?*

- Découpage du geste (approche analytique)
- Appauvrissement des situations d'apprentissage (sorties du contexte).
- Répétition et stéréotype



# *Apprendre par l'imitation ?*

- La démonstration permet de découvrir des séquences motrices nouvelles mais elle est sans effet sur les paramètres précis du geste.



**La capacité à imiter est le produit de l'apprentissage et non la cause...**



# *Et pourtant...les neurones miroirs ?...*



*« Les neurones grossièrement congruents ont un intérêt particulier, parce qu'ils semblent généraliser le but de l'action observée à travers nombre de ses instances »*

(Rizzolatti et al 2001)

Les neurones miroirs ne permettent pas de reproduire du détail gestuel et ne s'intéressent qu'à une action, à une finalité.

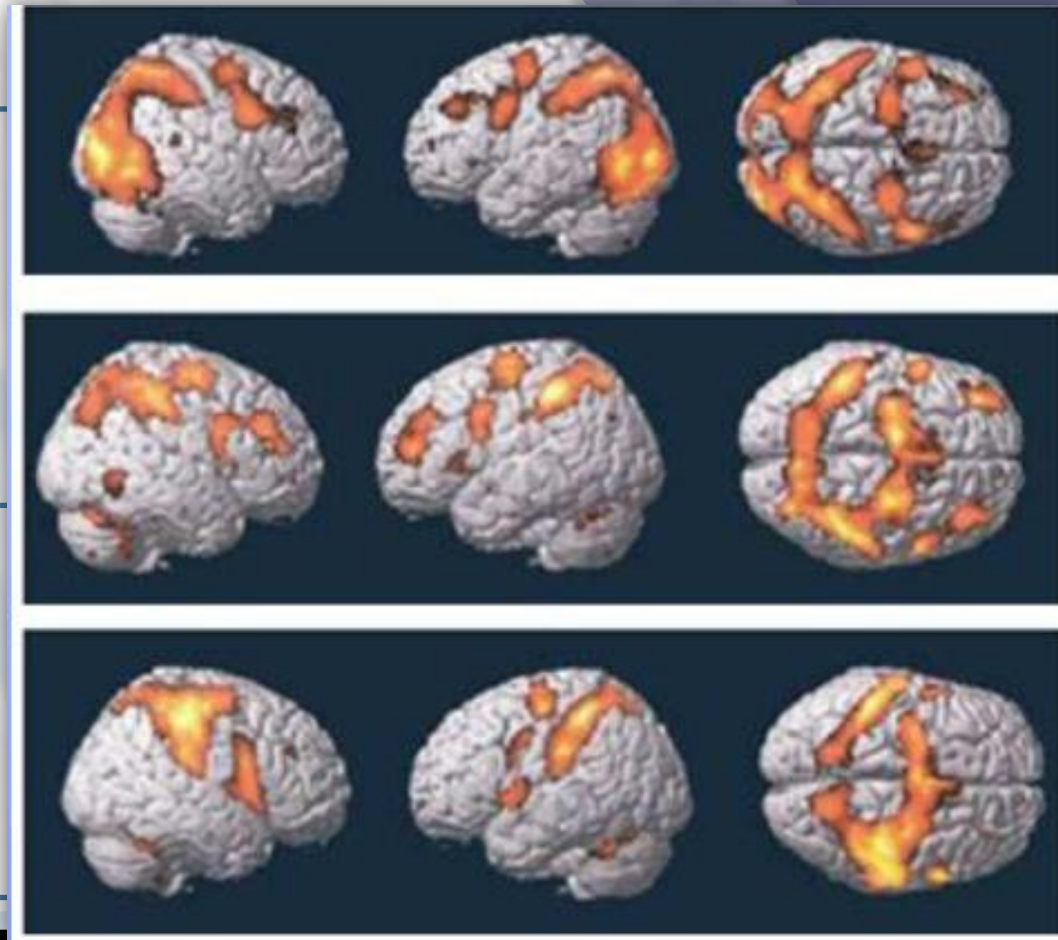
Ils participent aussi à la capacité **d'empathie**

Observation  
d'un geste

Elaboration  
d'un geste

(imitation  
du geste observé)

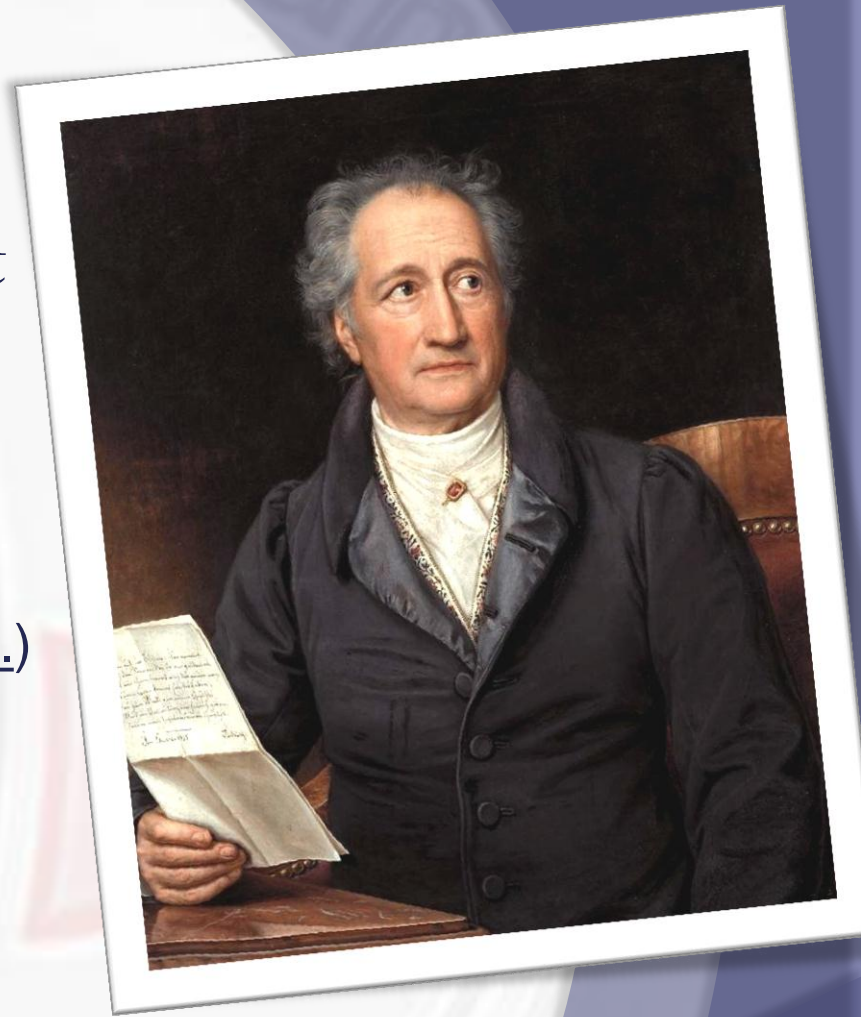
Exécution d'un  
geste



*Buccino et al. , Neuron 2004*

« Ce que le sportif va faire n'est pas un « copier-coller de ce qu'il a vu. »

...L'esprit m'éclaire enfin !  
L'inspiration descend sur moi, et  
j'écris tout simplement : ***Au  
commencement était  
l'action !*** " (Goethe dans « Faust ».)





Intermodalité  
des perceptions.

# Pourquoi et comment nous modifions nos mouvements ?



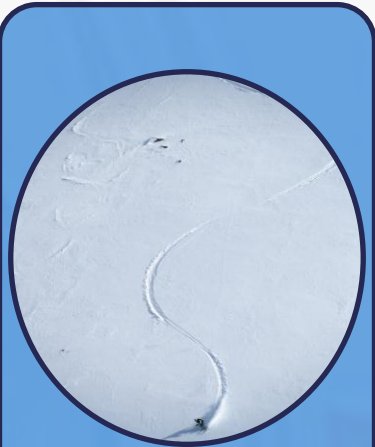
## Secousse minimale (minimale jerk):

- **fluidité**: minimisation des variations d'accélération (jerk) car coûteuse.



## Variance minimale:

moins il y a de contrôle du SNC plus il y a d'économie.



## L'effort minimal

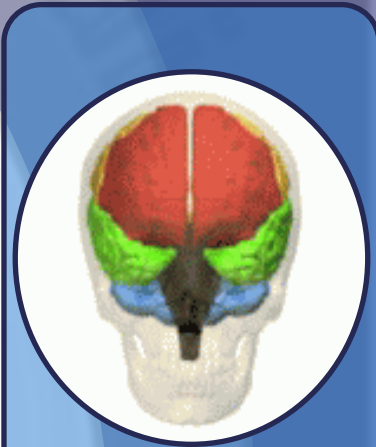
- : lié au rendement et donc à la raideur du système.



## Changement minimal de couple

(minimum torque change model):

- complète du point de vue dynamique le minimum jerk.



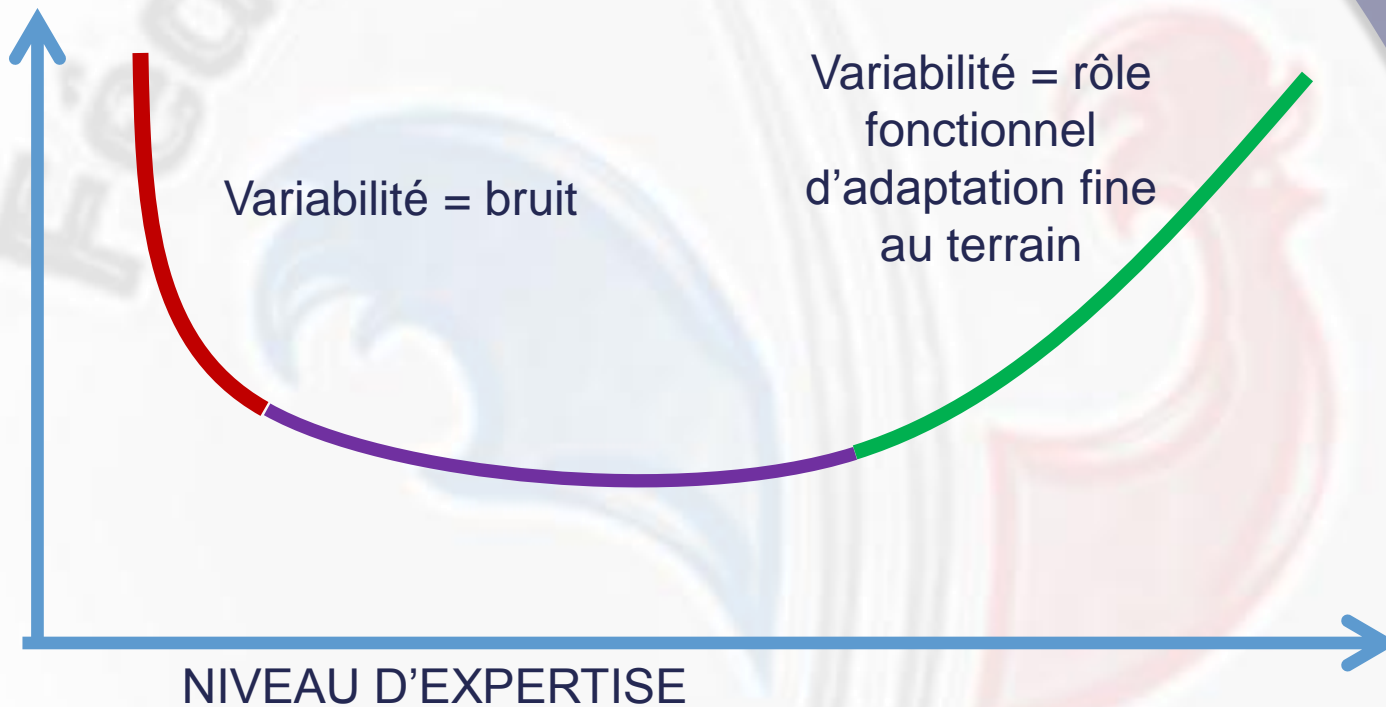
## Contrôle optimal en boucle fermée

(optimal feedback control) :

- la variabilité fait partie du mouvement et en est même un élément de réussite

Maximisation de la probabilité de réussite / minimisation des coûts énergétiques et du temps requis

VARIABILITE DES COORDINATIONS



Acceptation de la variabilité des coordinations gestuelles et ne pas s'attendre à des réponses standardisées.

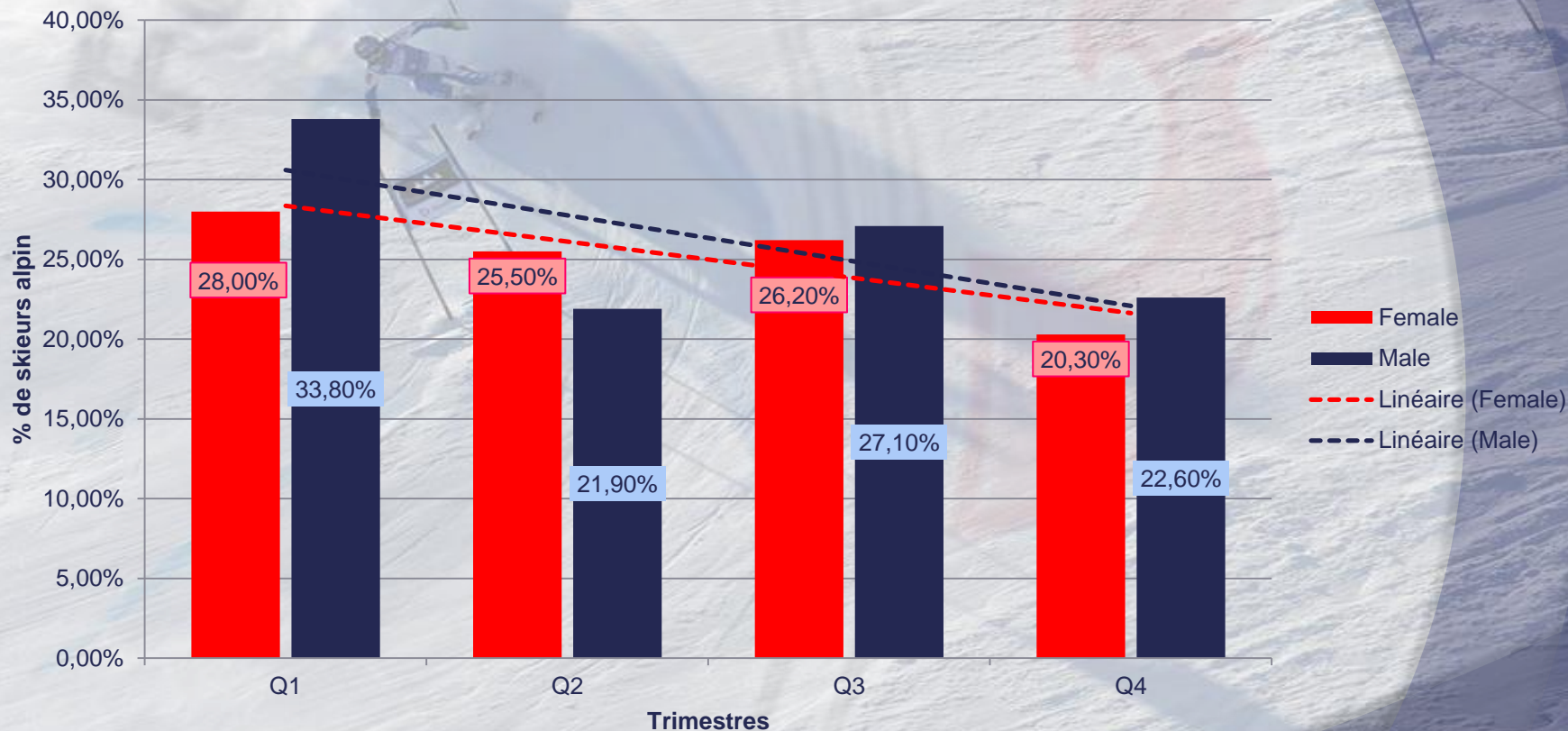


# Quand la Sélection a une fonction de Détection....



Problème du résultat  
sportif comme seul  
moyen de sélection et  
détection ...

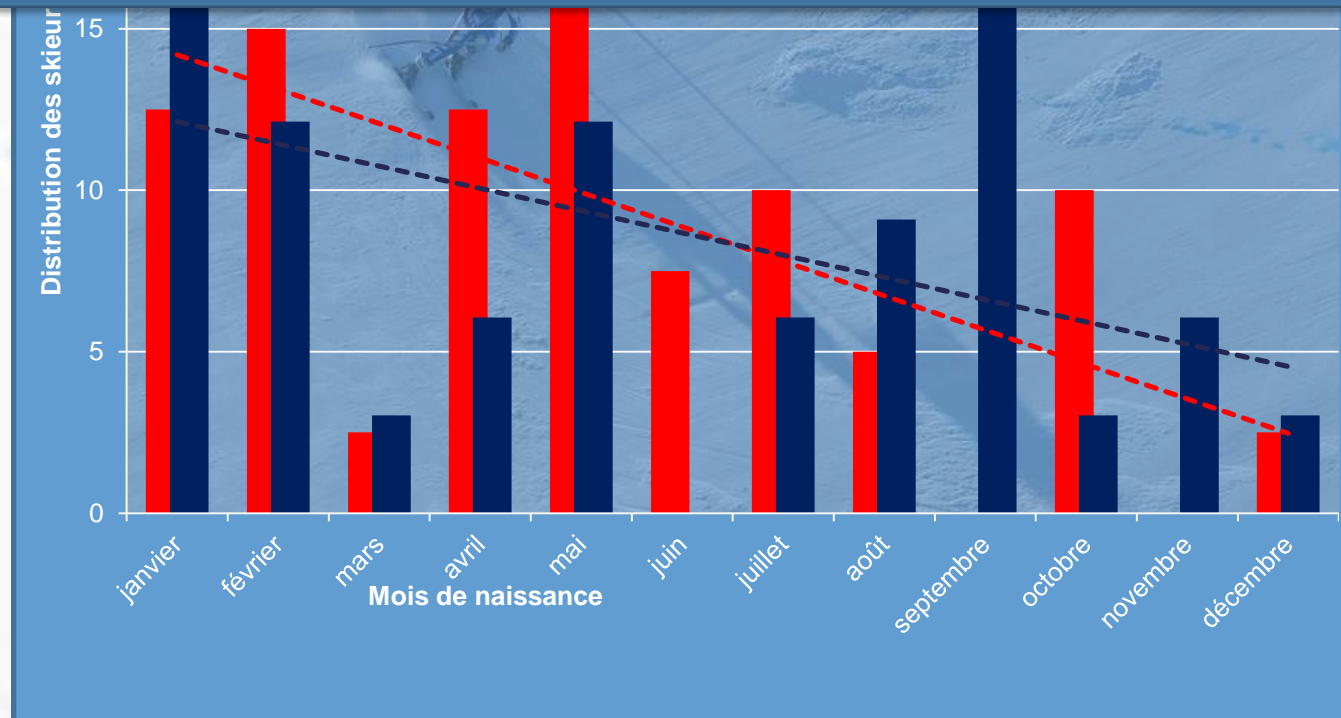
## Répartition trimestrielle des mois de naissance des skieurs selon le sexe



D'après Raschner et al. 2012

« L'avenir, nous n'avons pas à le prédire, nous avons à le permettre »

Antoine de St Exupéry



→ Accès inégal aux opportunités d'entraînement : besoin de méthodes de regroupement et de compétitions alternatives

# Pas de réponse motrice standard mais auto-organisation de la coordination...

Le mouvement produit n'est pas la conséquence directe d'une consigne externe.

*« La technique doit elle être le solfège du sport ? »*

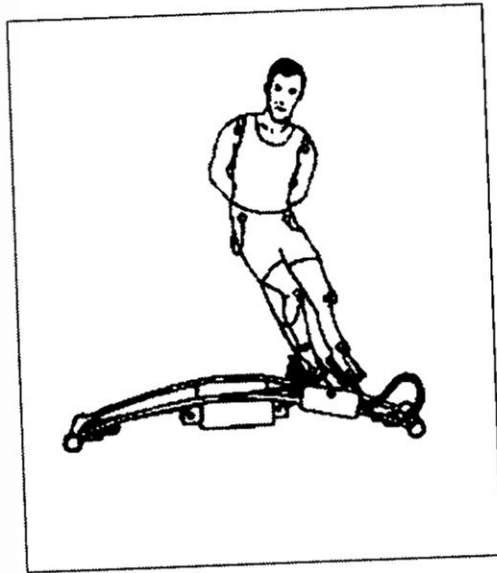
Claude Fauquet 2012

**modèle**  
**« prescriptif »**  
**(simple, simpliste ?)**

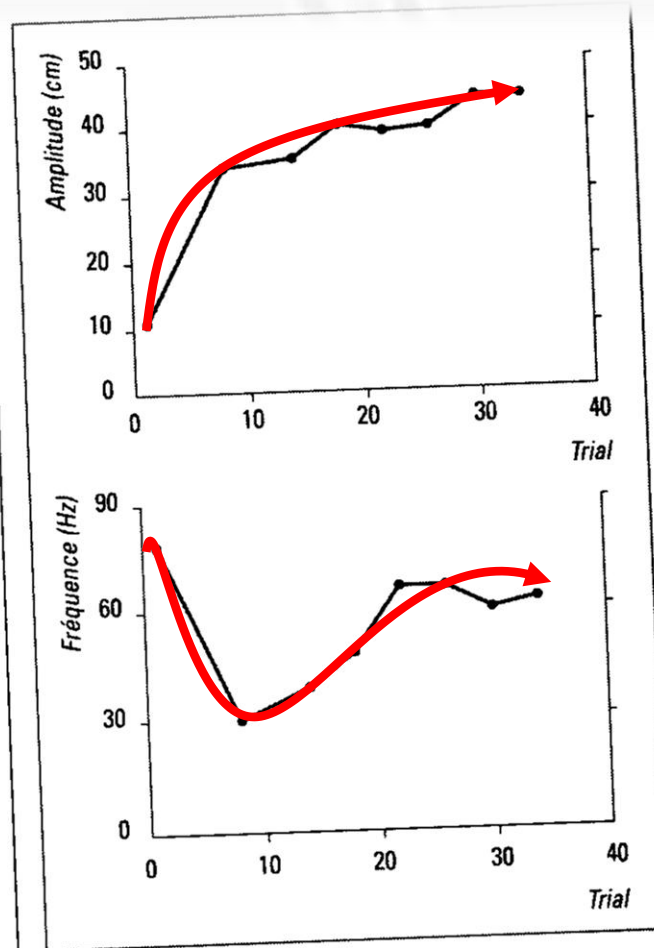


**Modèle**  
**« simplexe »**  
Apprendre à  
discerner l'essentiel  
du superflu

-- On apprend pas des mouvements mais le relâchement de ses degrés de liberté --



Simulateur de ski  
D'après Vereijken *et al.*, 1992, ©

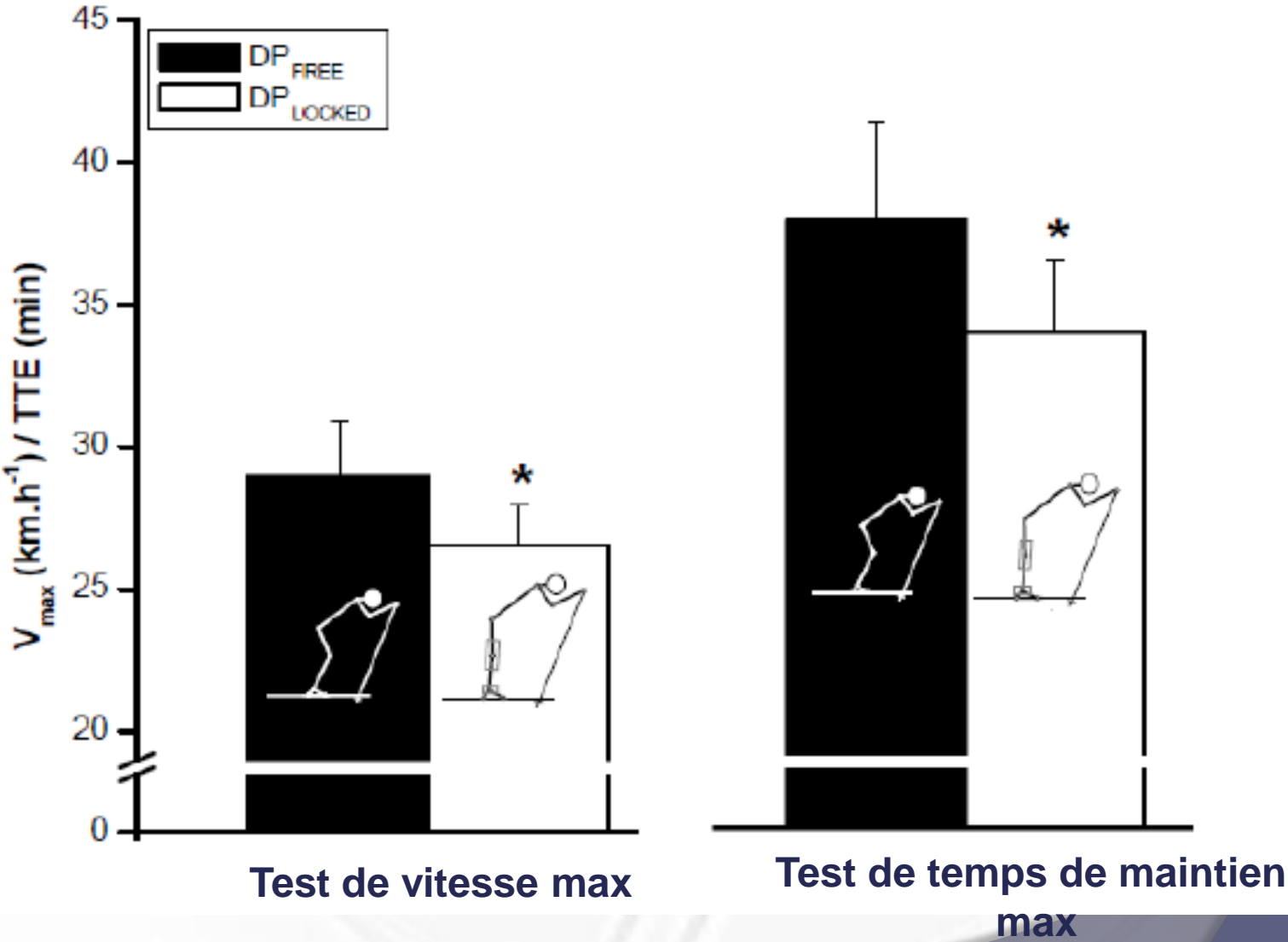


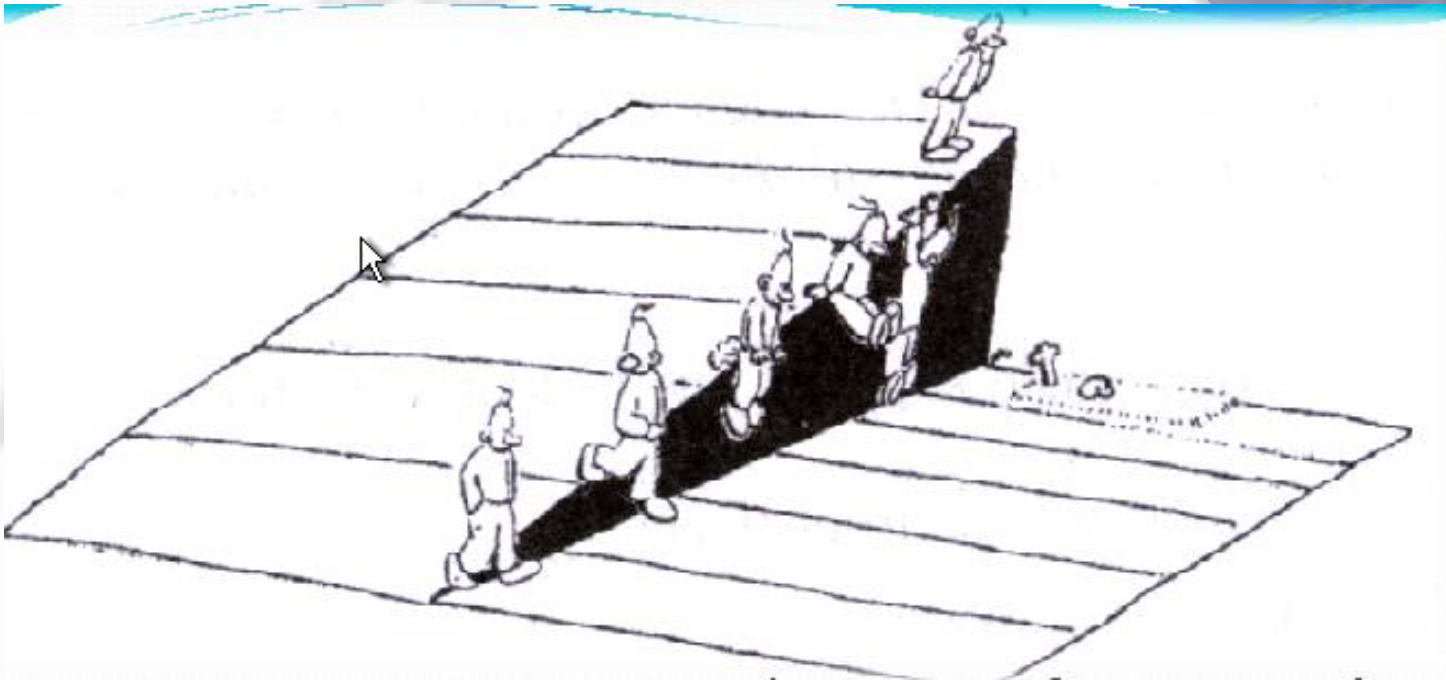
Évolution de l'amplitude et de la fréquence au cours des différents essais (libération progressive des degrés de liberté du système).

Diminution du « gel des degrés de liberté » par:

1. Relâchement et intégration des coordinations.
2. Utilisation progressive des forces externes pour augmenter l'efficacité – relâchement- (Bernstein)

# Contribution of the legs to DP performance

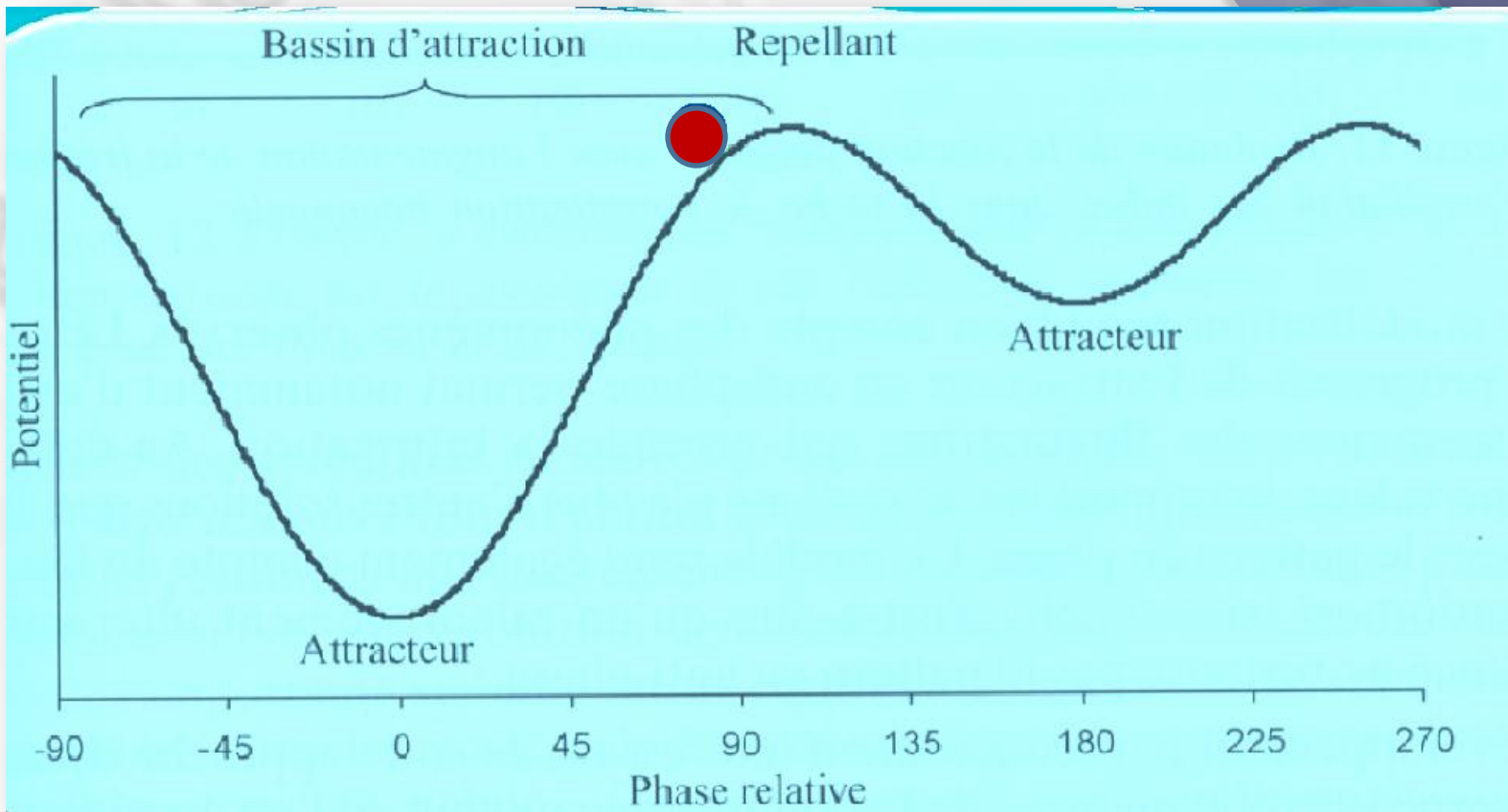




**Nous ne percevons pas les caractéristiques des objets (environnement) mais les actions que ces objets permettent (affordances (Gibson 1977) ➡ « faisabilité motrice »)**

**« La situation nous suggère l'action »**

Mais parfois problème de perception d'où l'intérêt de la vicariance (chgt de système perceptif)



A partir d'un certain seuil, le système n'a pas d'autre solution que d'être attiré par une solution motrice:

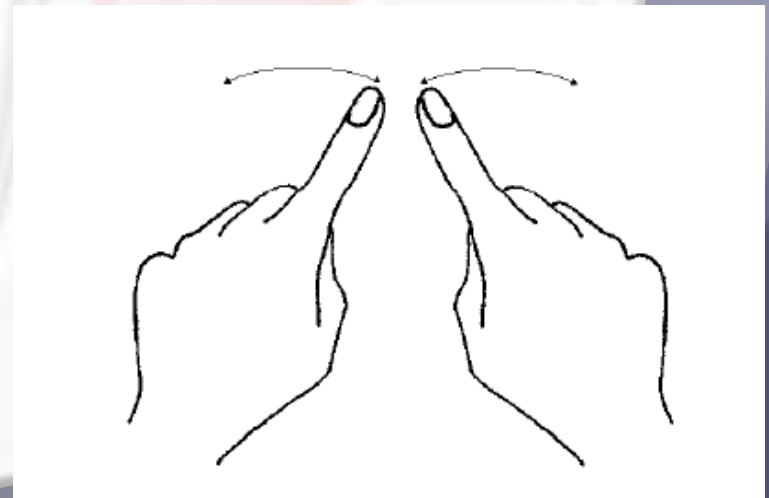
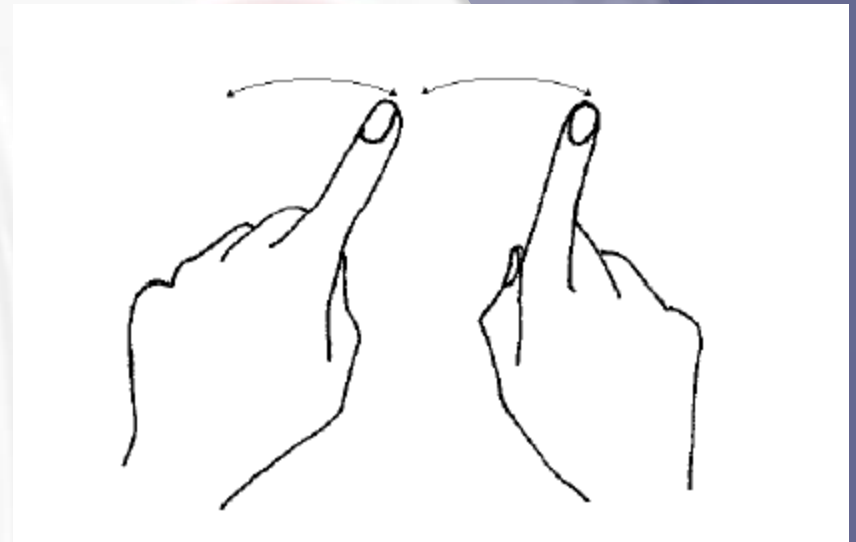
**Faire changer son comportement implique de faire varier les contraintes.**



# La notion d'attracteur

Les contraintes qui pèsent sur le sportif induisent certains types de comportements spontanés (appui arrière en ski,...)

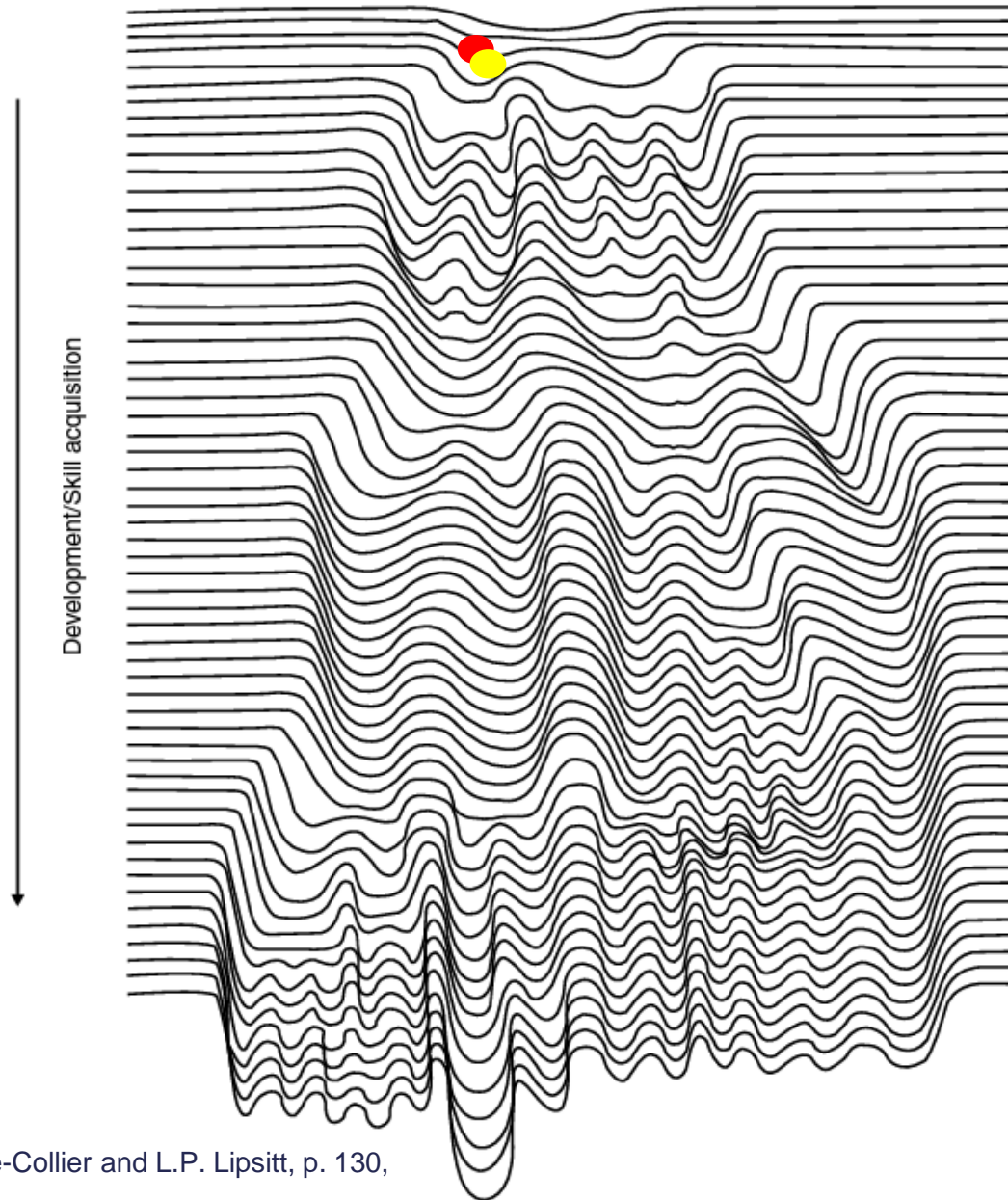
À une fréquence critique :



« On enseigne des certitudes, on n'enseigne jamais l'incertitude ».

E Morin

Comme les contraintes du skieur évoluent tout le temps la topologie du « paysage » changent également en reflétant les nouvelles expériences et l'acquisition de nouvelles compétences

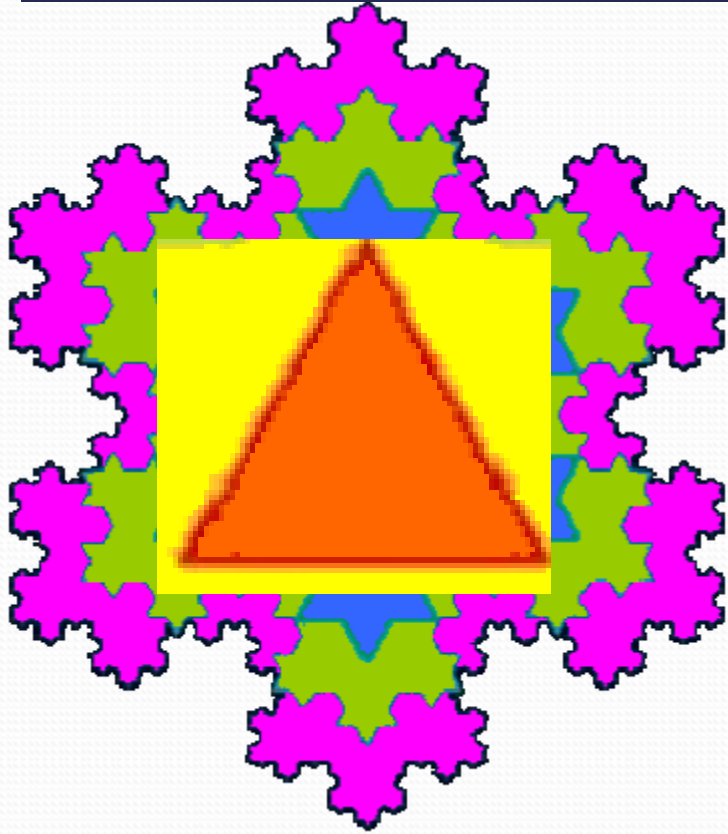


## Exemple du monocycle



# Fractales et apprentissage

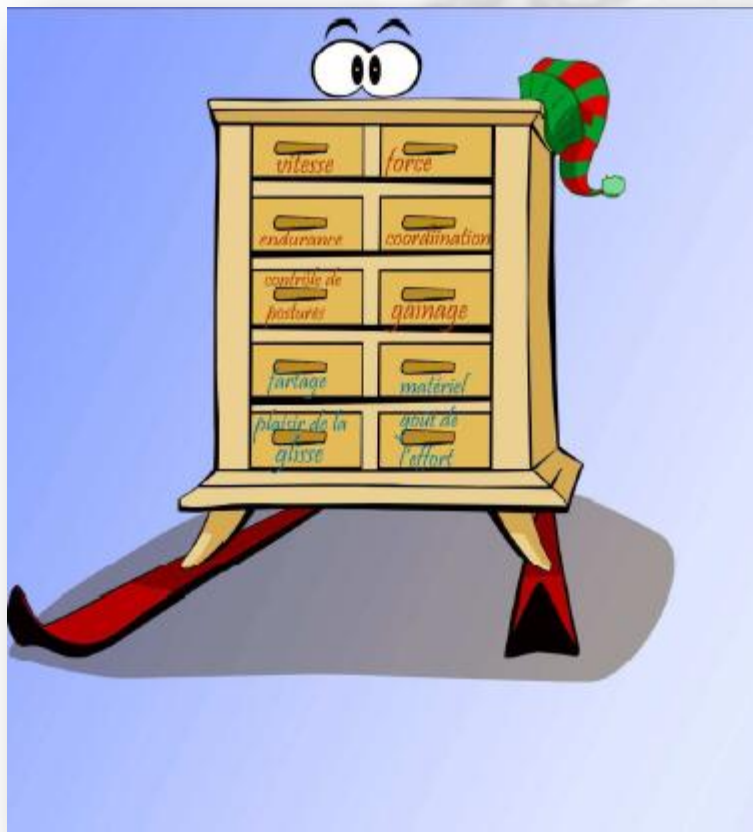
??????



- Peut on déterminer la longueur des cotes françaises?
- Peut on déterminer les degrés de liberté du corps?
- Peut on dire à quel angle de genou un skieur doit skier ?

☛ Ce qui est important à connaître c'est le triangle rouge

« Le mouvement est composé de micro variations qui répondent à des mêmes invariants »



« **La simplicité** : ensemble des solutions trouvées par les organismes vivants pour que, malgré la complexité des processus naturels, le cerveau puisse **préparer l'acte et en projeter les conséquences**. Ces solutions sont des **principes simplificateurs** qui permettent de traiter des informations ou des situations, en tenant compte de l'expérience passée et en anticipant l'avenir. **Ce ne sont ni des caricatures, ni des raccourcis ou des résumés. Ce sont de nouvelles façons de poser les problèmes** »

## L'ordre des lettres...

■ Selon une étude de l'Université de Cambridge, l'ordre des lettres dans un mot n'a pas d'importance, la seule chose importante est que la première et la dernière soient à la bonne place. Le reste peut être dans un désordre total et vous pouvez toujours lire sans problème. C'est parce que le cerveau humain ne lit pas chaque lettre elle-même, mais le mot comme un tout.

La preuve...

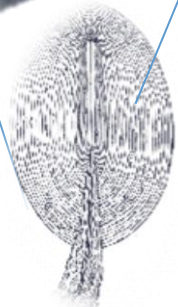
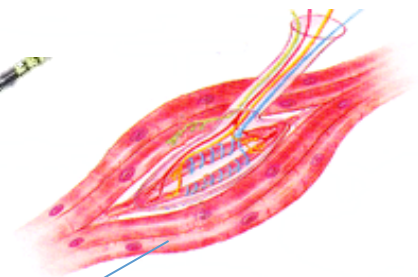
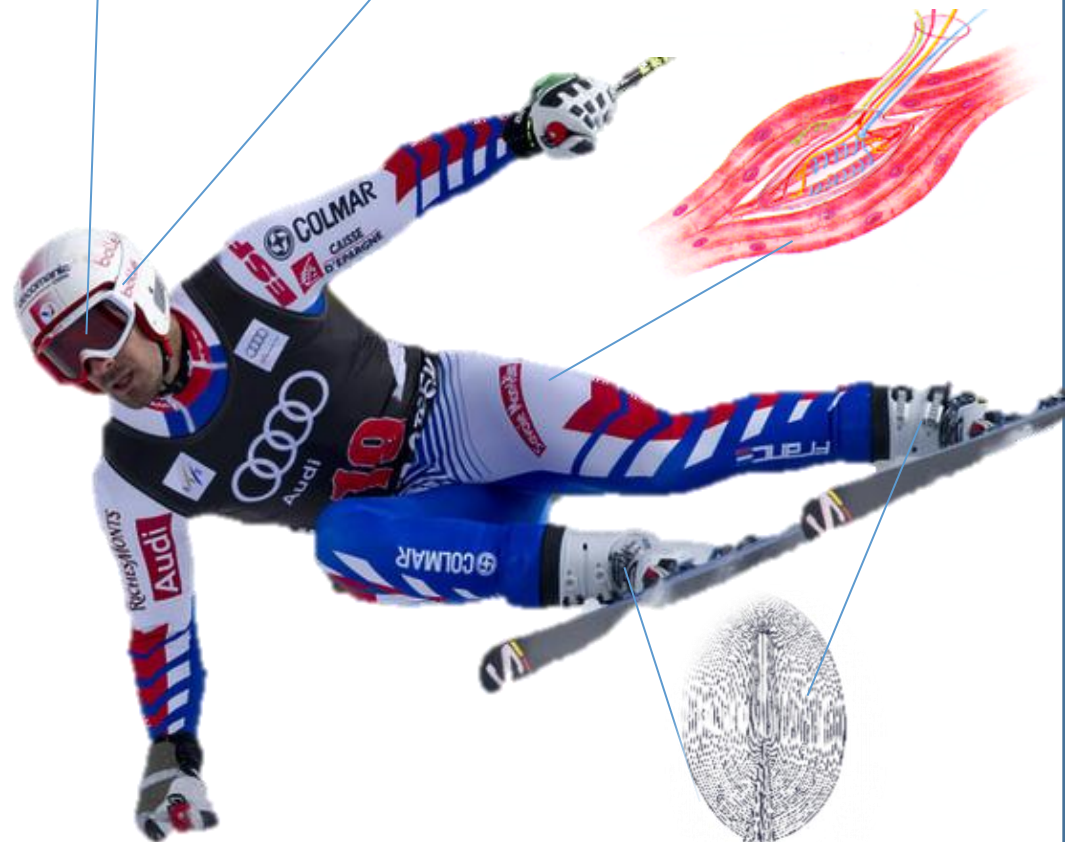
Arlos ne veenz puls m'ememdrer aevc les corerticons otrahhgropqiués. ■

Le skieur en fonction de :

- ses perceptions au contact ski- neige,
- ses informations visuelles sur l'environnement
- ses aptitudes physiques et mentales

va piloter son corps et ses skis par des actions ou gestuelles.

*Il paraît donc primordial de développer un répertoire de sensations et de gestuelles de pilotage.*

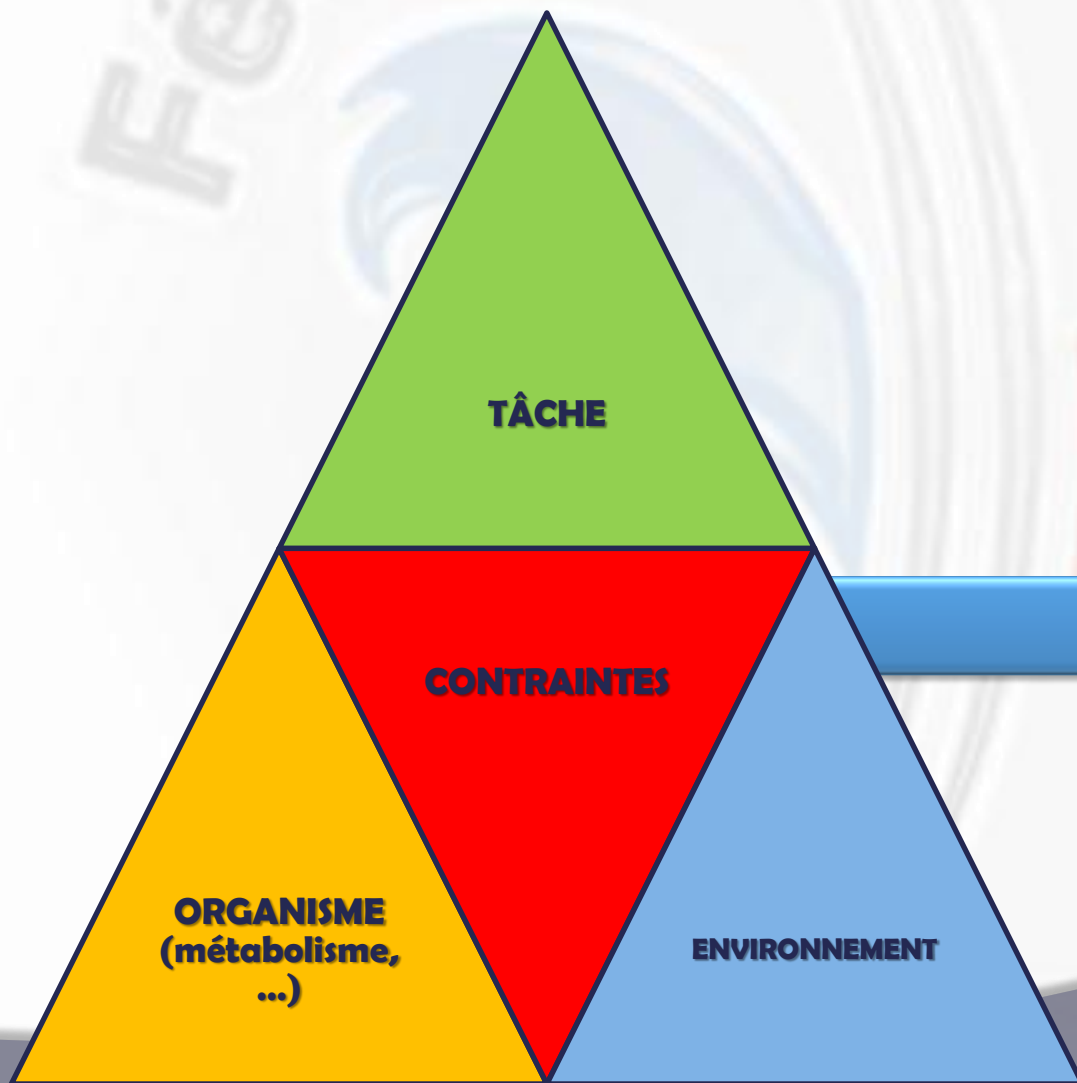


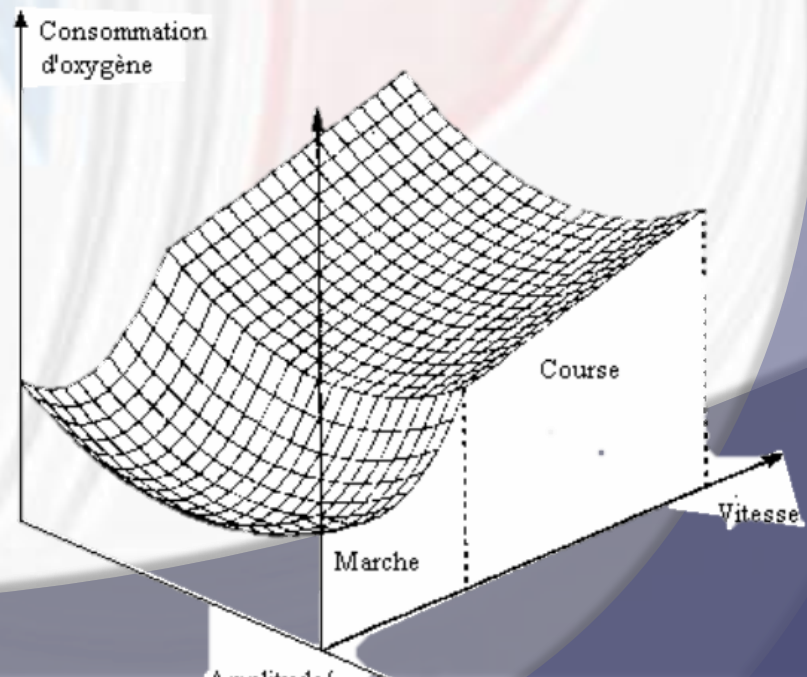
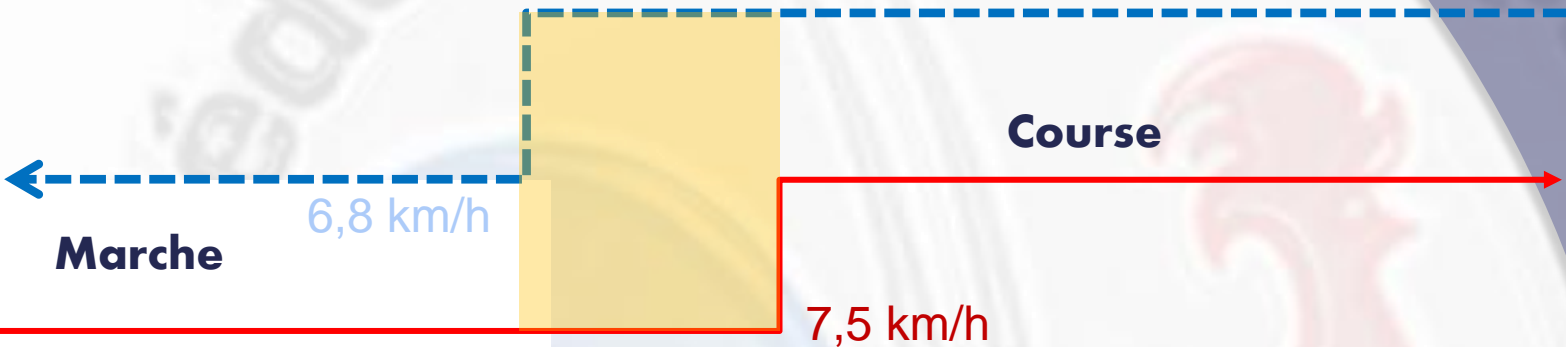
RECHERCHER LA  
COMPLEXITE DES  
SITUATIONS  
D'APPRENTISSAGE  
POUR FAIRE EMERGER  
DES NOUVELLES  
GESTUELLES  
ADAPTEES





Sous l'effet de contraintes extérieures non spécifiques, le mode de coordination évolue par des transitions dynamiques afin d'optimiser la dépense d'énergie, réduire le niveau des forces requises pour produire le mouvement.



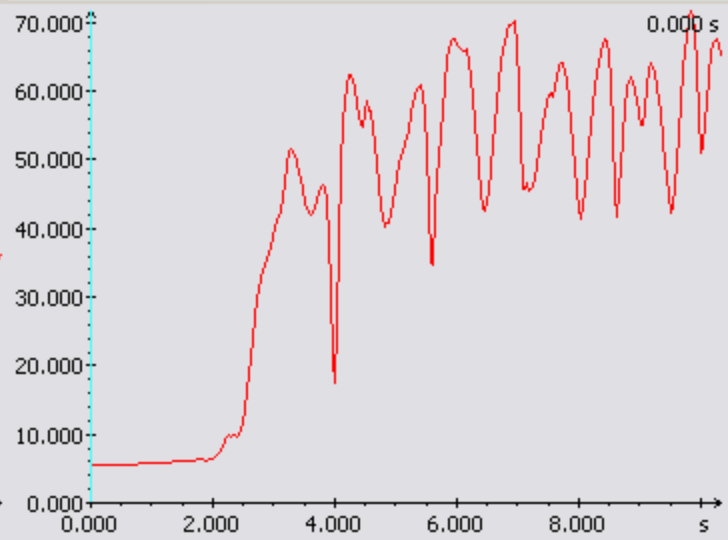
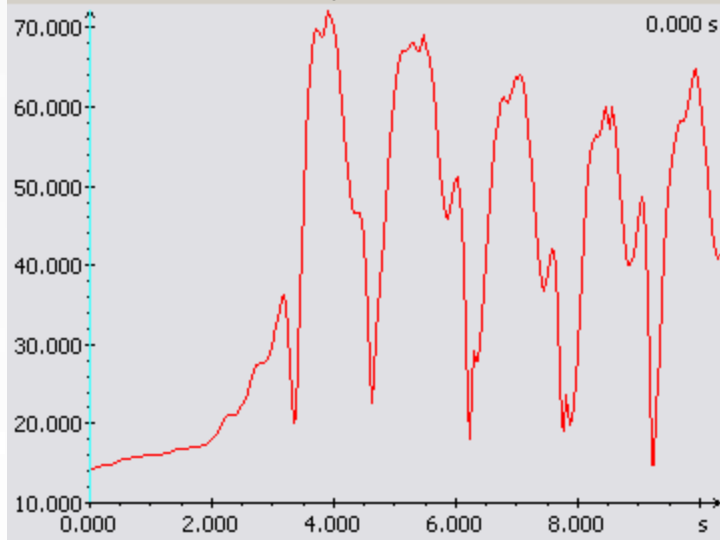
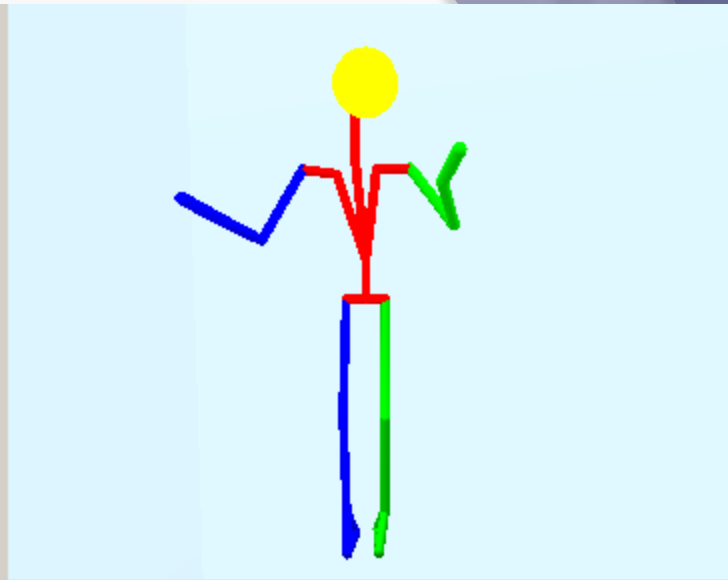
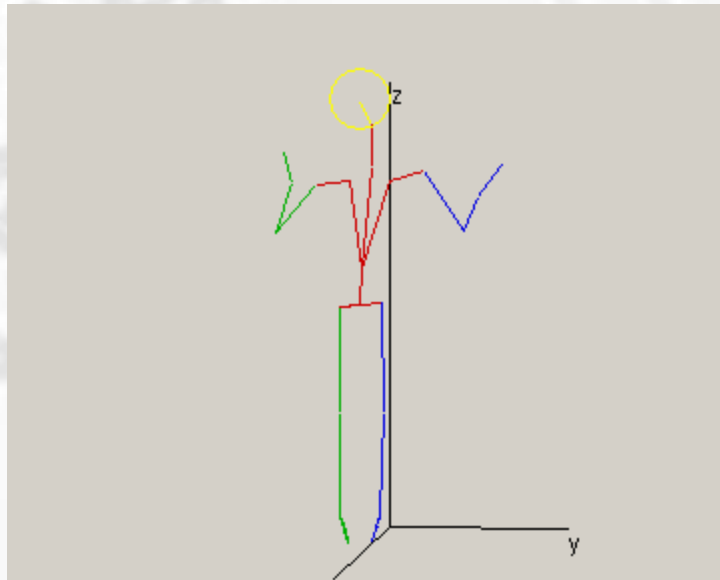


# Transition entre technique: hystérésis...



2 temps combiné

2 temps



■ 14.307 left knee angle ortho

■ 5.412 right knee angle ortho

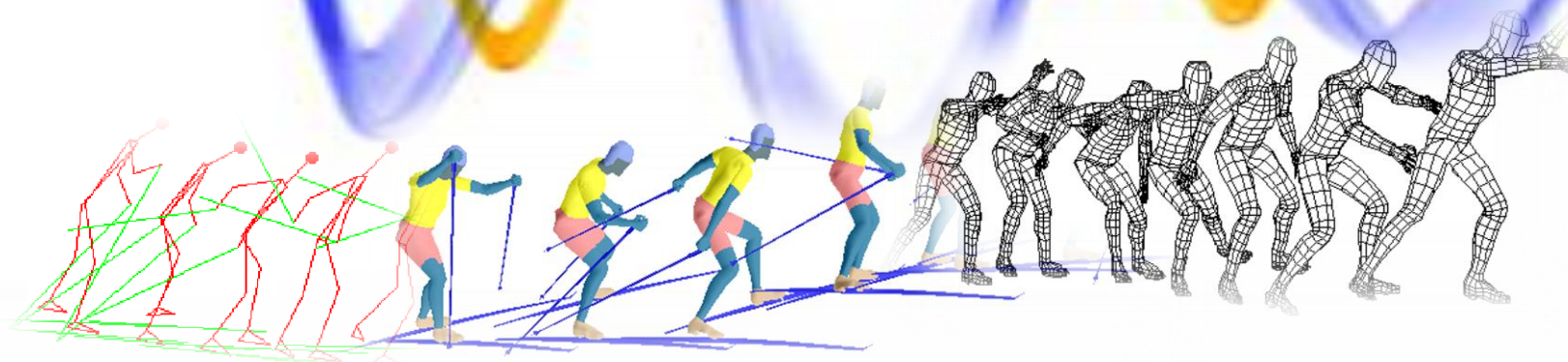
# Quels principes fondateurs de la pratique du ski ?

Biomécanique

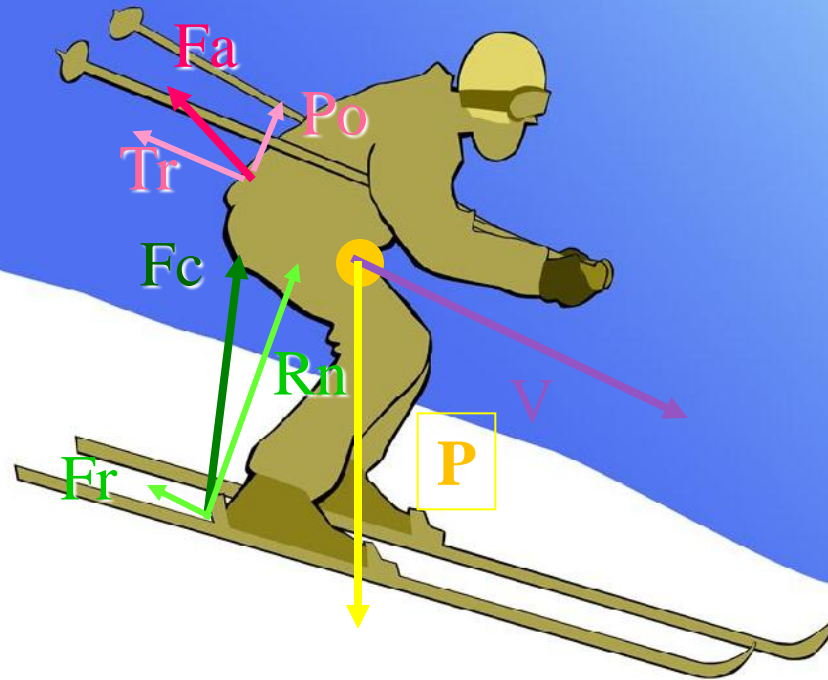
Neurophysiologie

Bio-énergétique

Psychologie



# FORCES EXERCÉES SUR UN SKIEUR



**$F_a$  : force aérodynamique**

$P_o$  : portance

$T_r$  : traînée

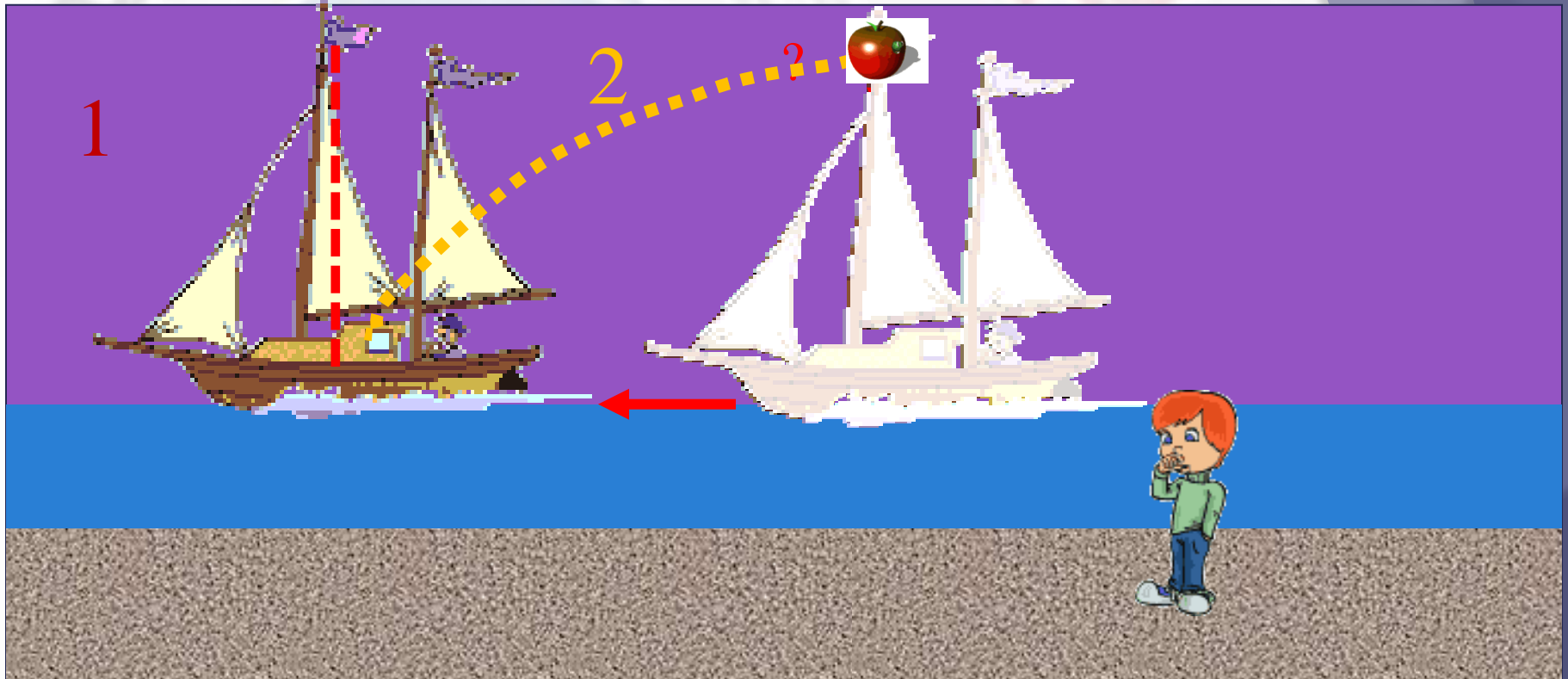
**$F_c$  : force de contact ski - neige**

$R_n$  : réaction normale

$F_r$  : frottement

# Problème du référentiel à partir duquel on perçoit un phénomène

« La réalité n'est qu'un point de vue ». Philip K. Dick



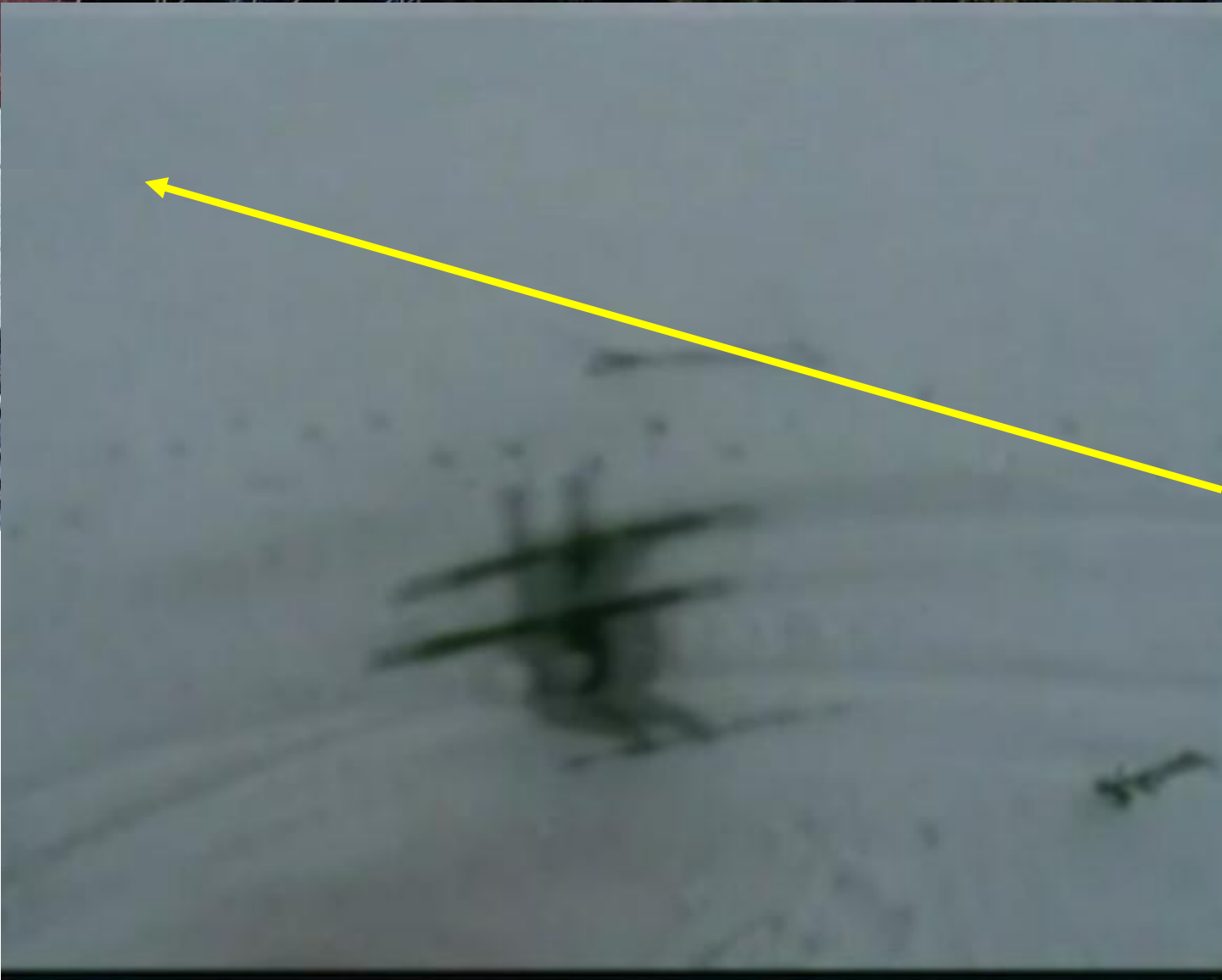


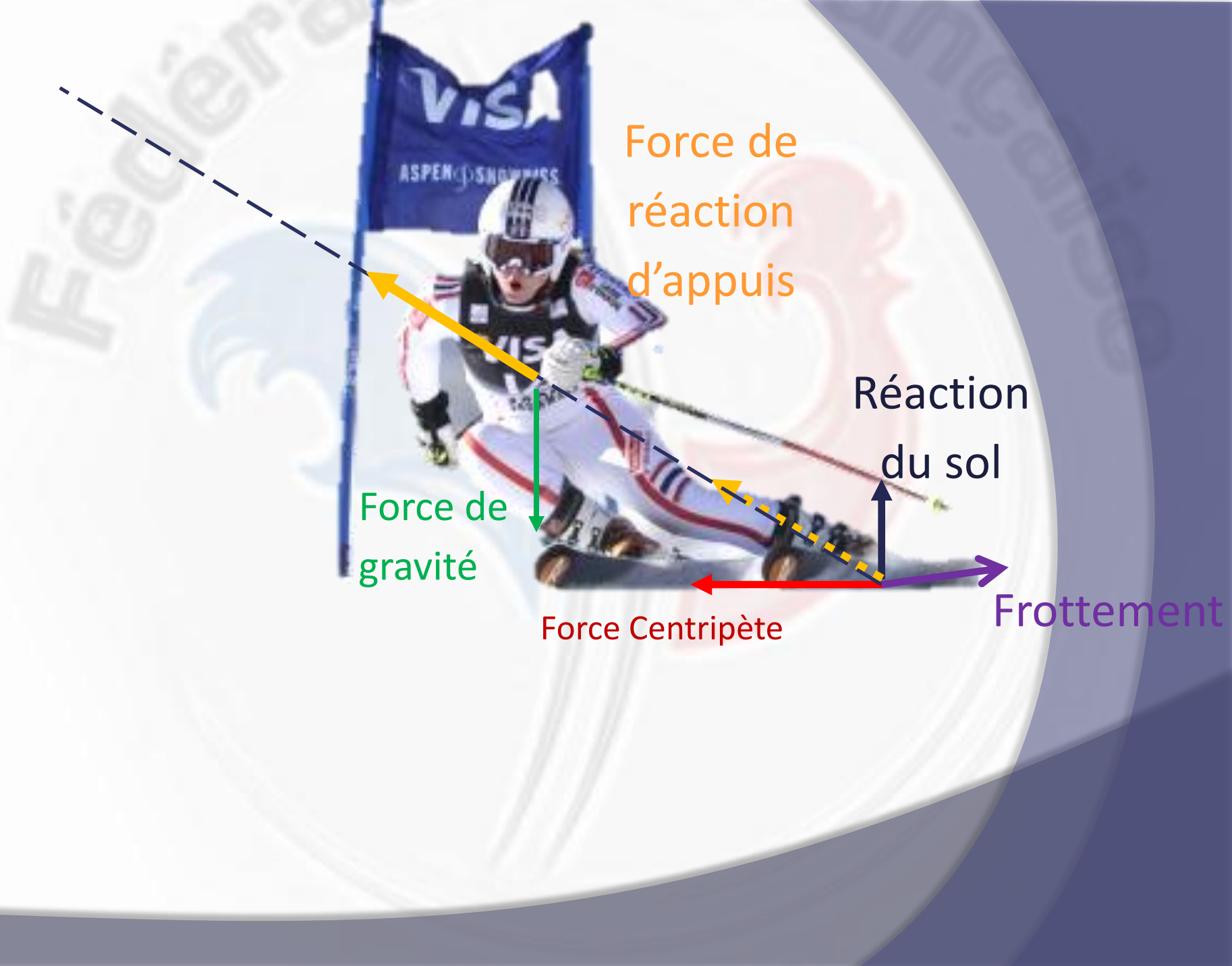


Le moniteur et le skieur ont des perceptions différentes...

Le moniteur doit donc développer sa capacité d'empathie (se mettre à la place de l'autre pour comprendre ce que l'autre perçoit)...

# Video centripète ski





Force de réaction d'appuis

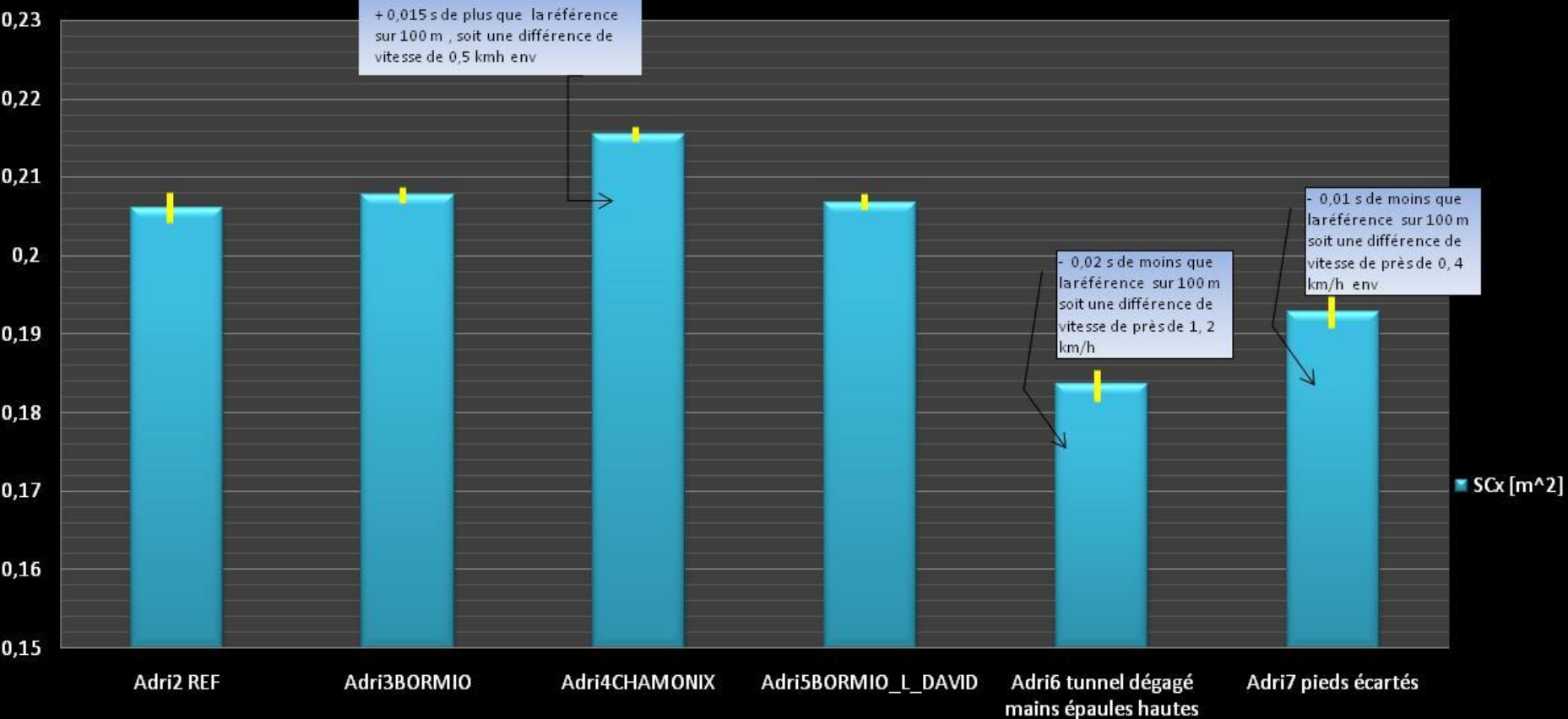
Force de gravité

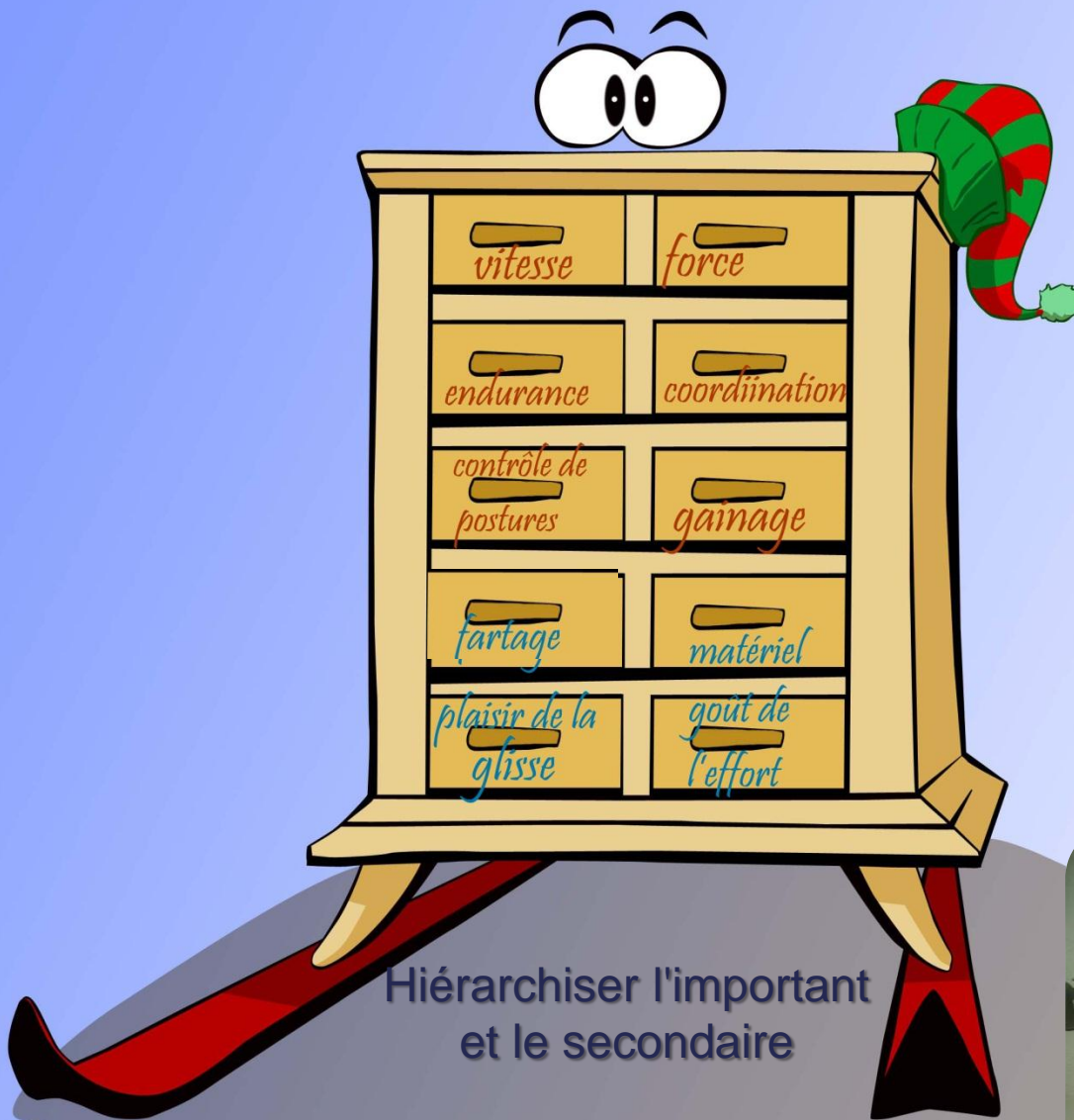
Force Centripète

Réaction du sol

Frottement

## SCx [m<sup>2</sup>]





Hierarchiser l'important  
et le secondaire

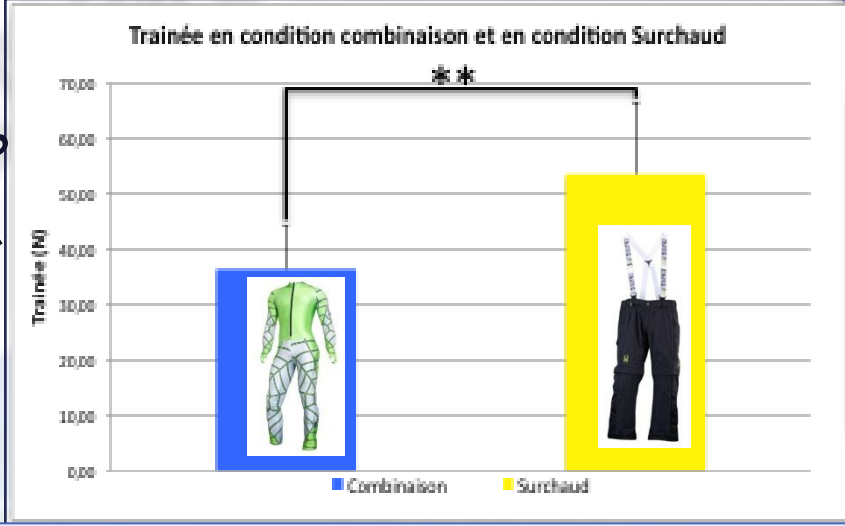
Catégorie Jeune :

Favoriser le  
progrès plutôt que  
la performance

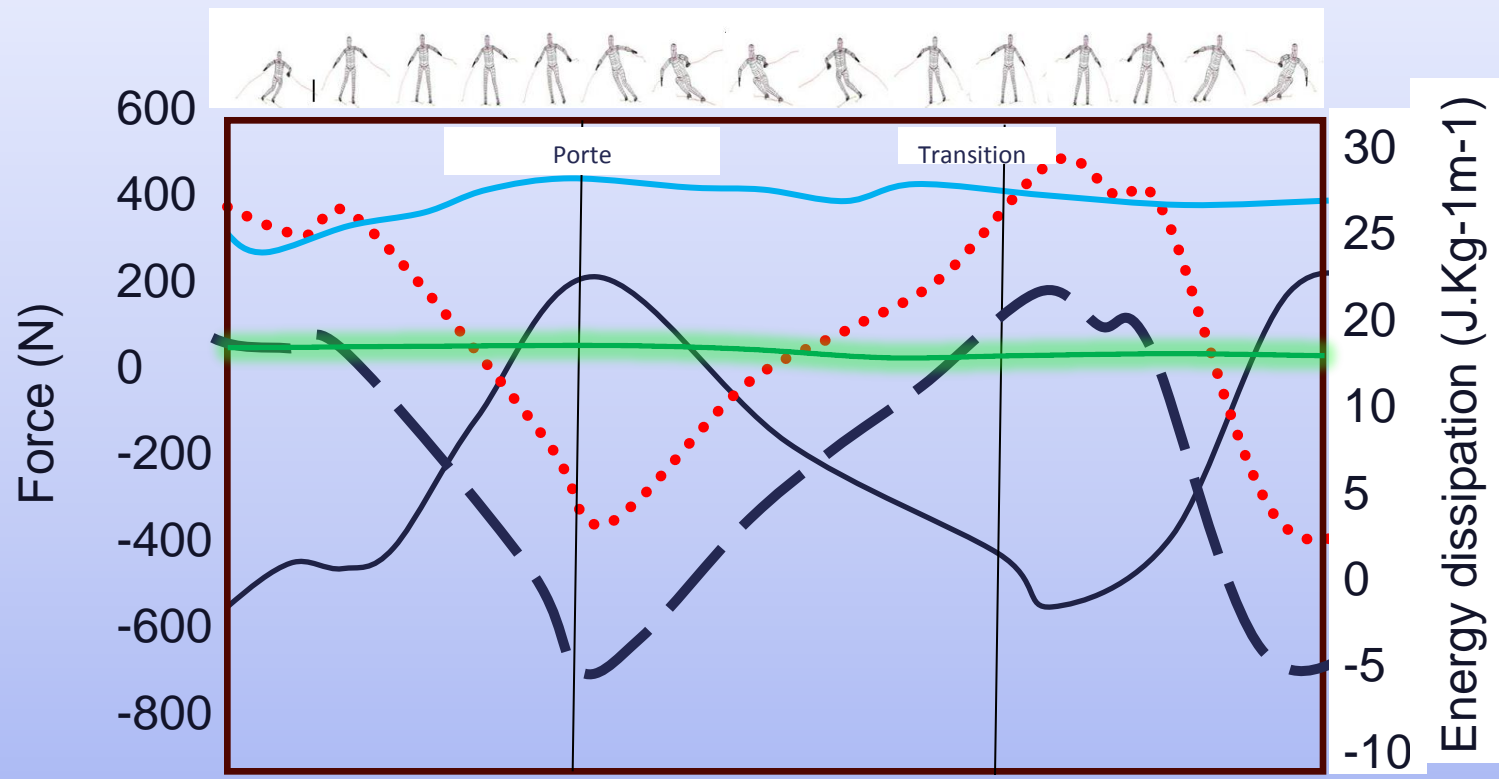
- Charte de fartage  
petites catégories  
(ski nordique, ski alpin)

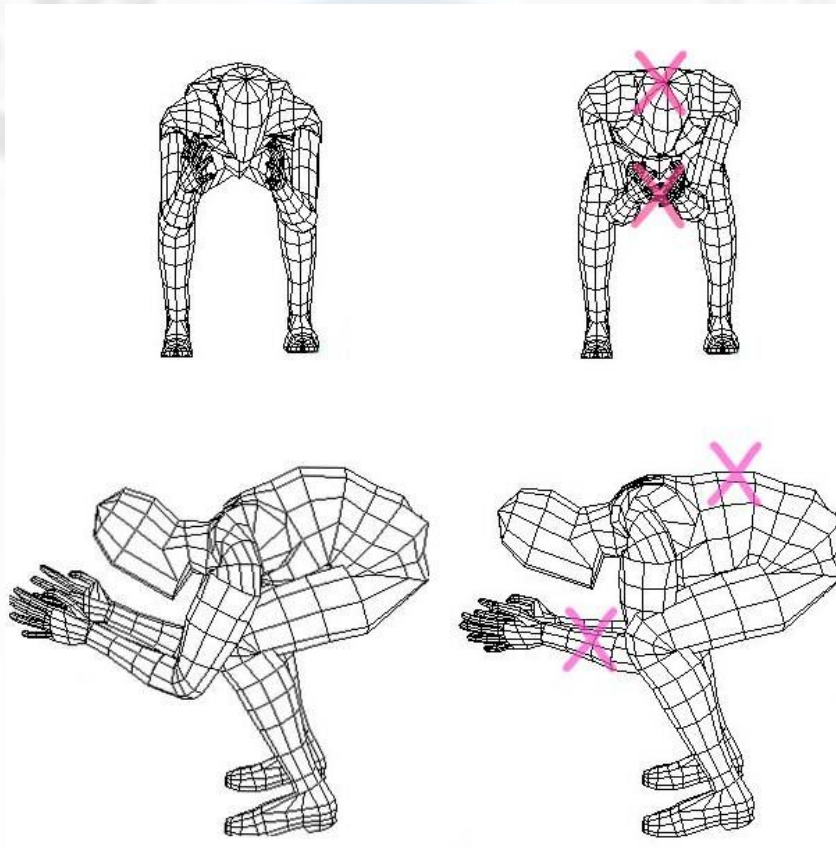


L'aérodynamique dans les petites catégories ?



**F. Resultant**  
**Gravitational F**  
**Snow Friction**  
**Air Drag**  
**Energy Dissipation**





Meilleure posture :

✓ Pont des jambes dégagé

✓ Dos horizontal et légèrement courbé (sauf petit gabarit !!!)

✓ Epaules resserrées

# Positions :



SCx = 0.16 m<sup>2</sup>



Position de référence

SCx = 0.16 m<sup>2</sup>



Position du coureur

70 km/h

90 km/h

110 km/h

Différence de performance entre les deux skieurs sur 100 m

0 -> 100 m

$\Delta T$

0.000

seconde

$\Delta V$

0.00

km/h

Différence de performance sur 200 m si le coureur prend la position de référence après les 100 premiers mètres

0 -> 200 m

$\Delta T$

0.000

seconde

$\Delta V$

0.00

km/h

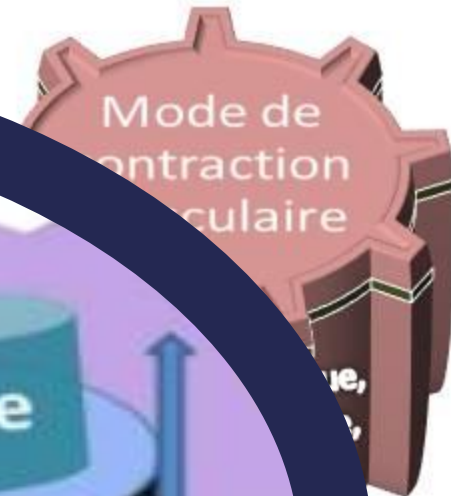


Modèle dont les composantes sont déterminées  
par des paramètres répondant aux lois de la  
physique



**Variation  
des forces  
de contact ski-neige...**

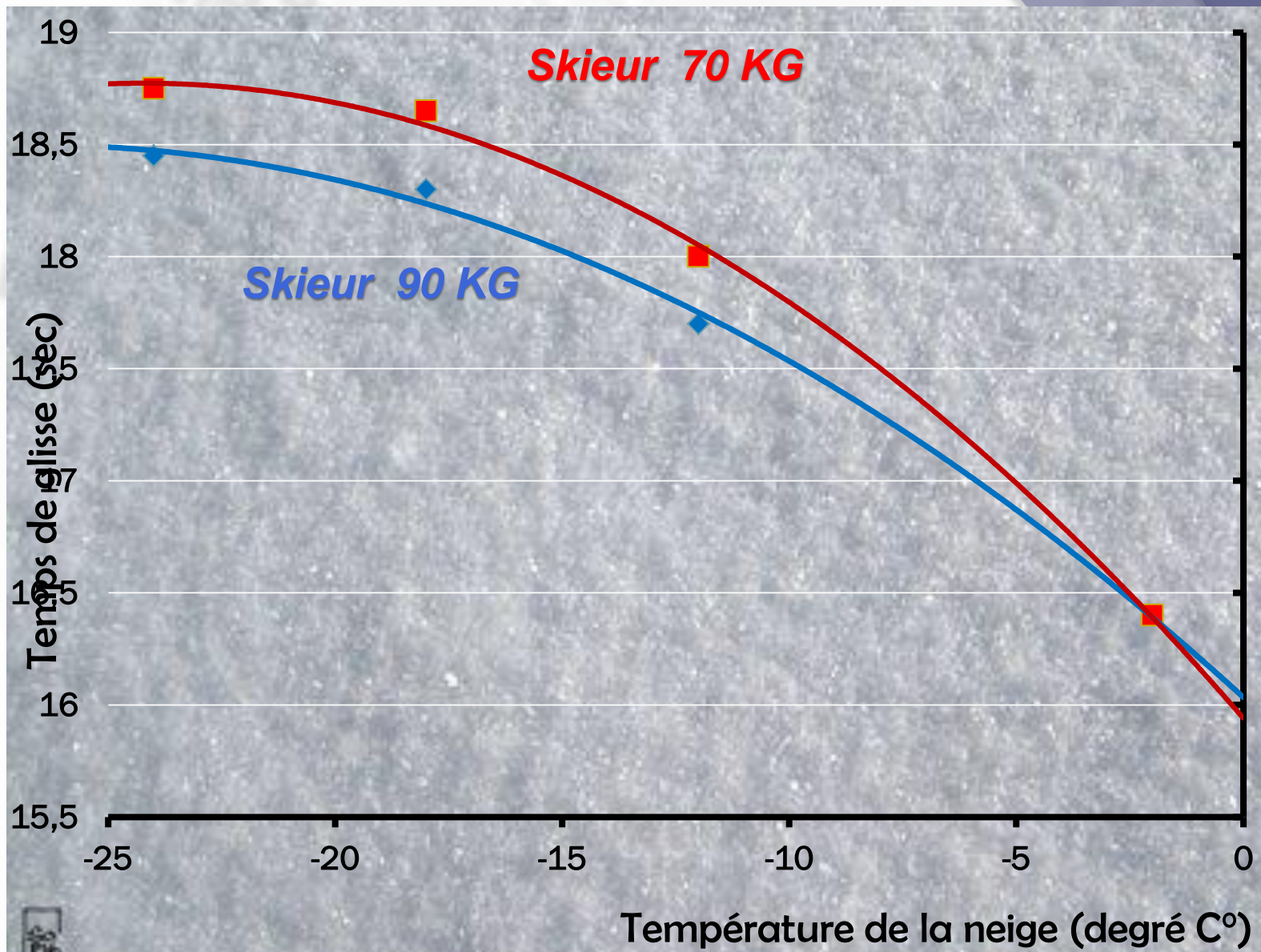
**...par l'intensité, la durée,  
l'orientation pour s'adapter à  
l'environnement.**



« Le skieur plus lourd va-t-il plus vite ? »

Notions de poids et de frottement





**Variation  
des forces  
de contact ski neige...**

**...par l'intensité, la durée,  
l'orientation pour s'adapter à  
l'environnement.**

Gestuelles  
d'allègement  
et de  
pression

Gestion des  
déséquilibres  
latéraux et antéro-  
postérieurs

Engagement, prise de carre, ...

Mode de  
contraction  
musculaire

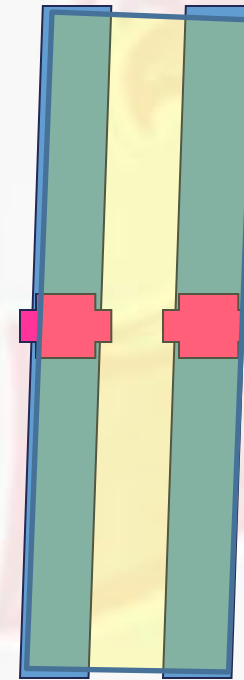
Concentrique,  
excentrique,  
Iso, plio

Gestion  
des  
rotations

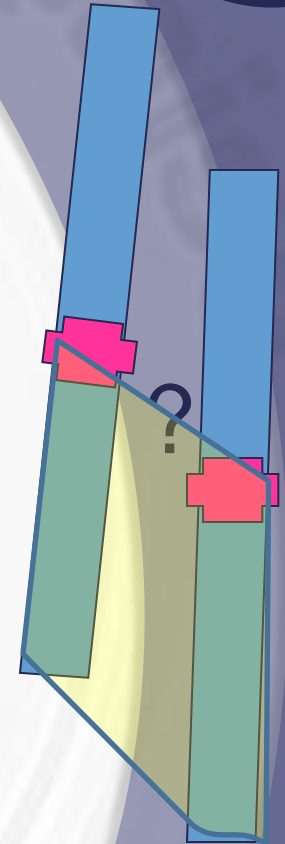
Gainage, vissage,  
contre vissage, ...

# Rappel de physique « statique »

## Le polygone de sustentation



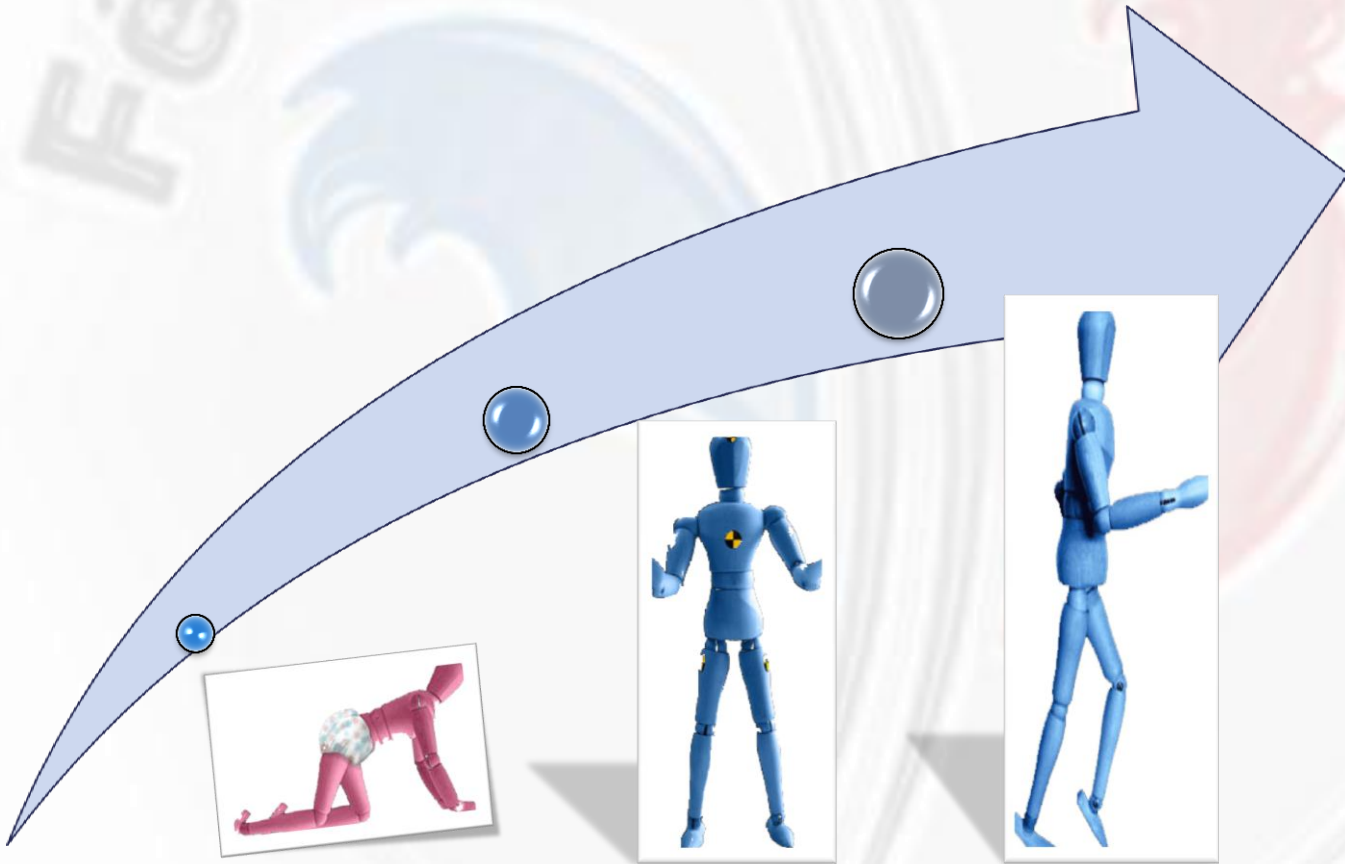
SKI ALPIN



Telemark

Un peu de temps perdu...car en fait le problème ne se pose pas comme ça....

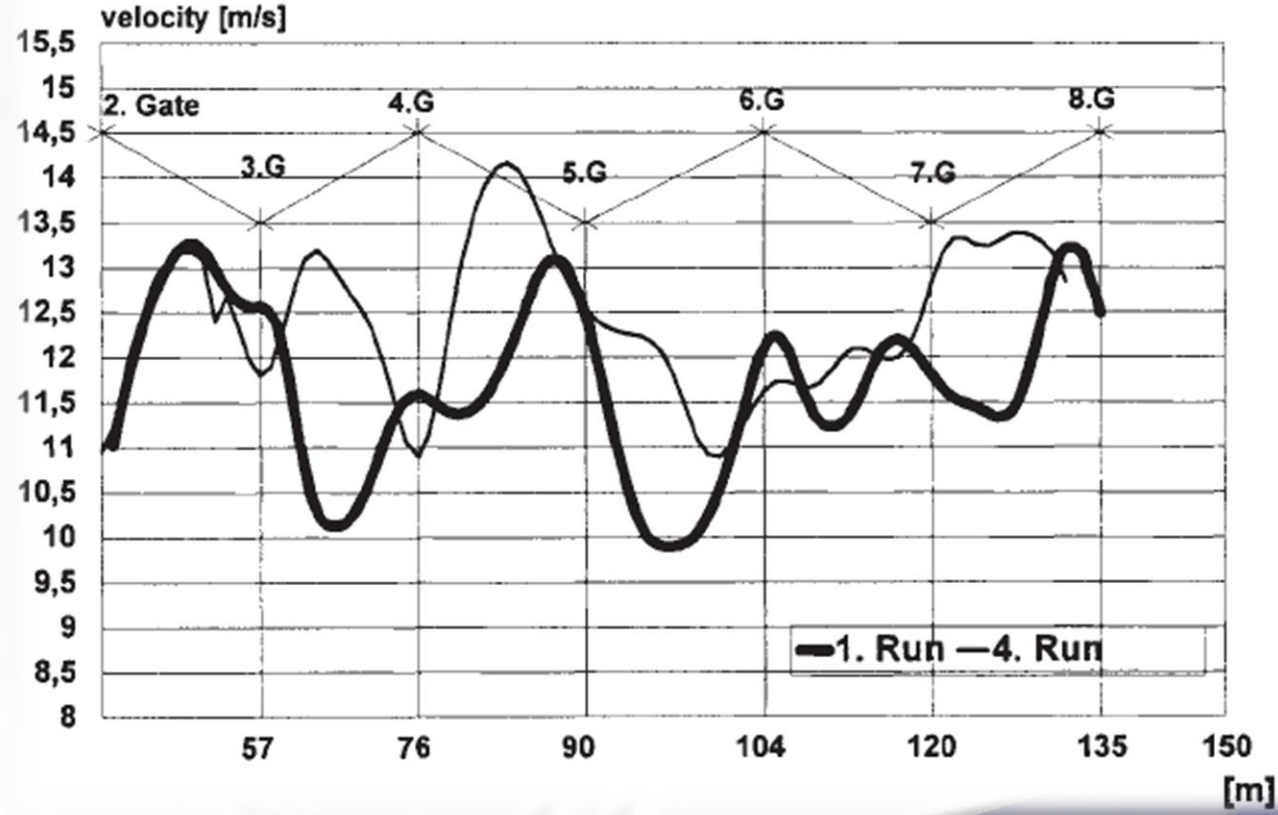
# LA GENÈSE DE LA PERFORMANCE PAR LE DÉSÉQUILIBRE





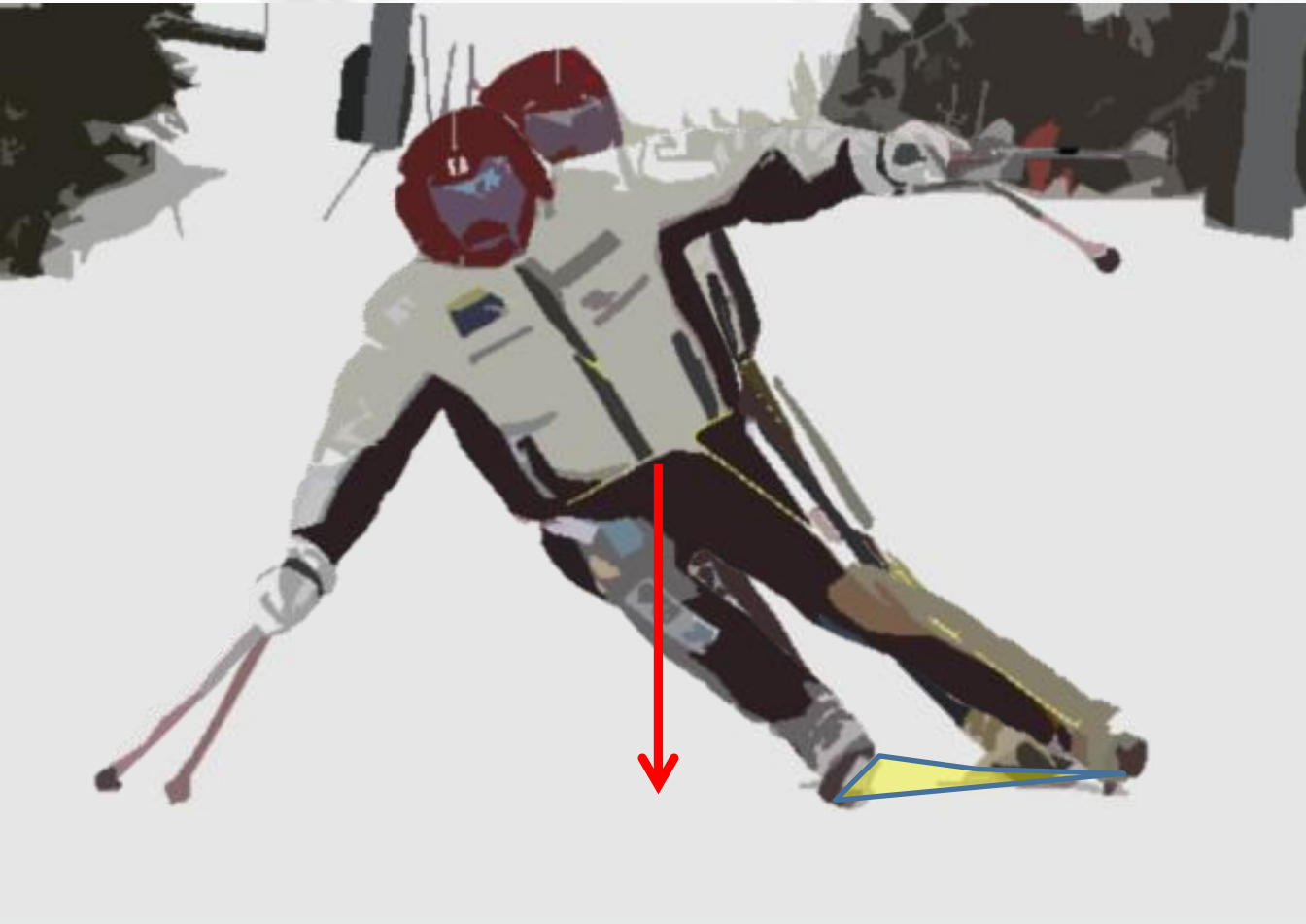
Certes, le déséquilibre n'est plus nécessaire à vitesse constante...mais en ski :... jamais de vitesse constante

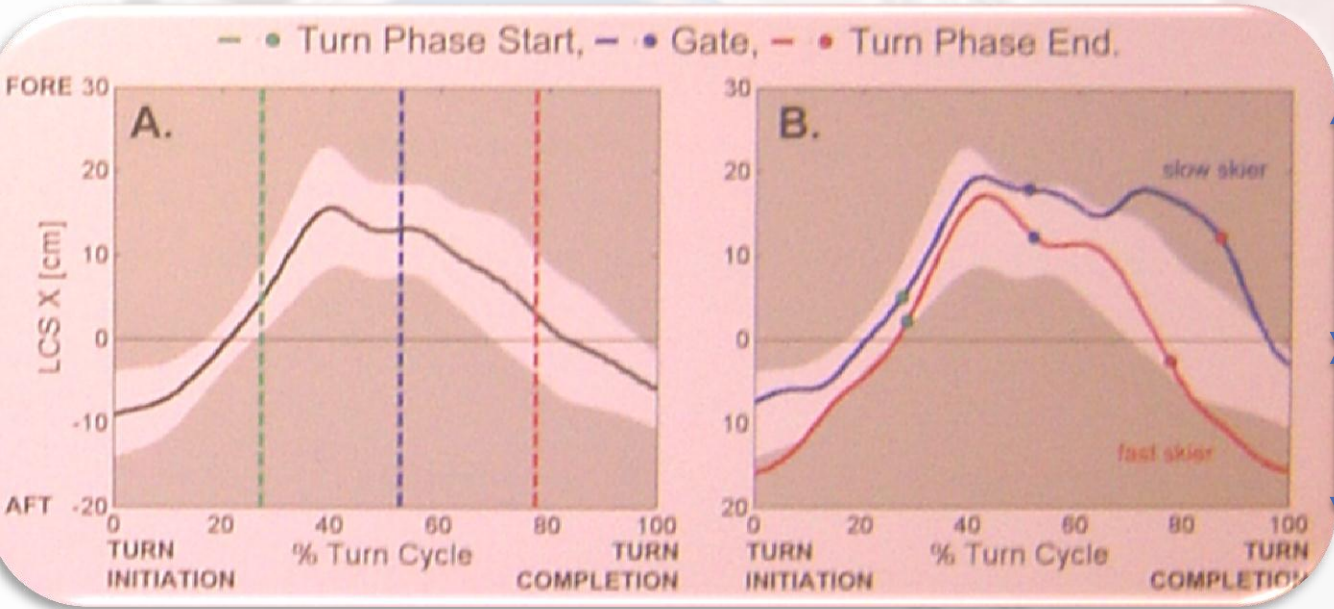
### Velocity Giant Slalom





# Equilibre ?.....ou STABILITE ?





Centre de gravité en avant.

Centre de gravité en arrière.

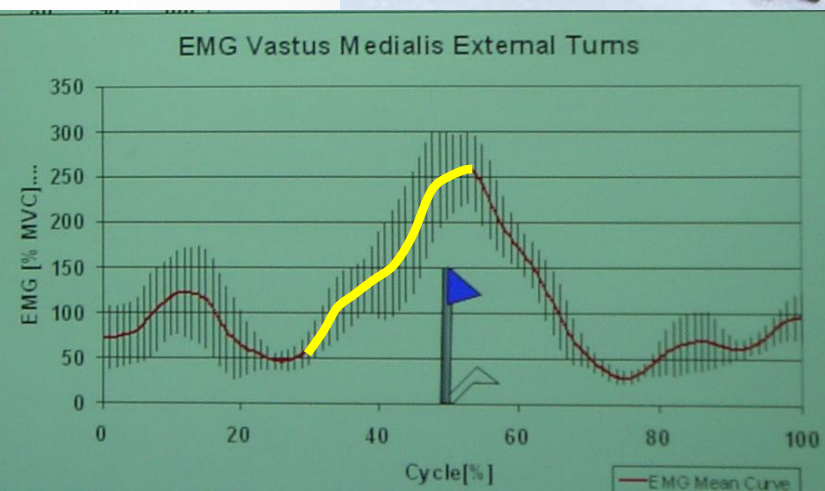
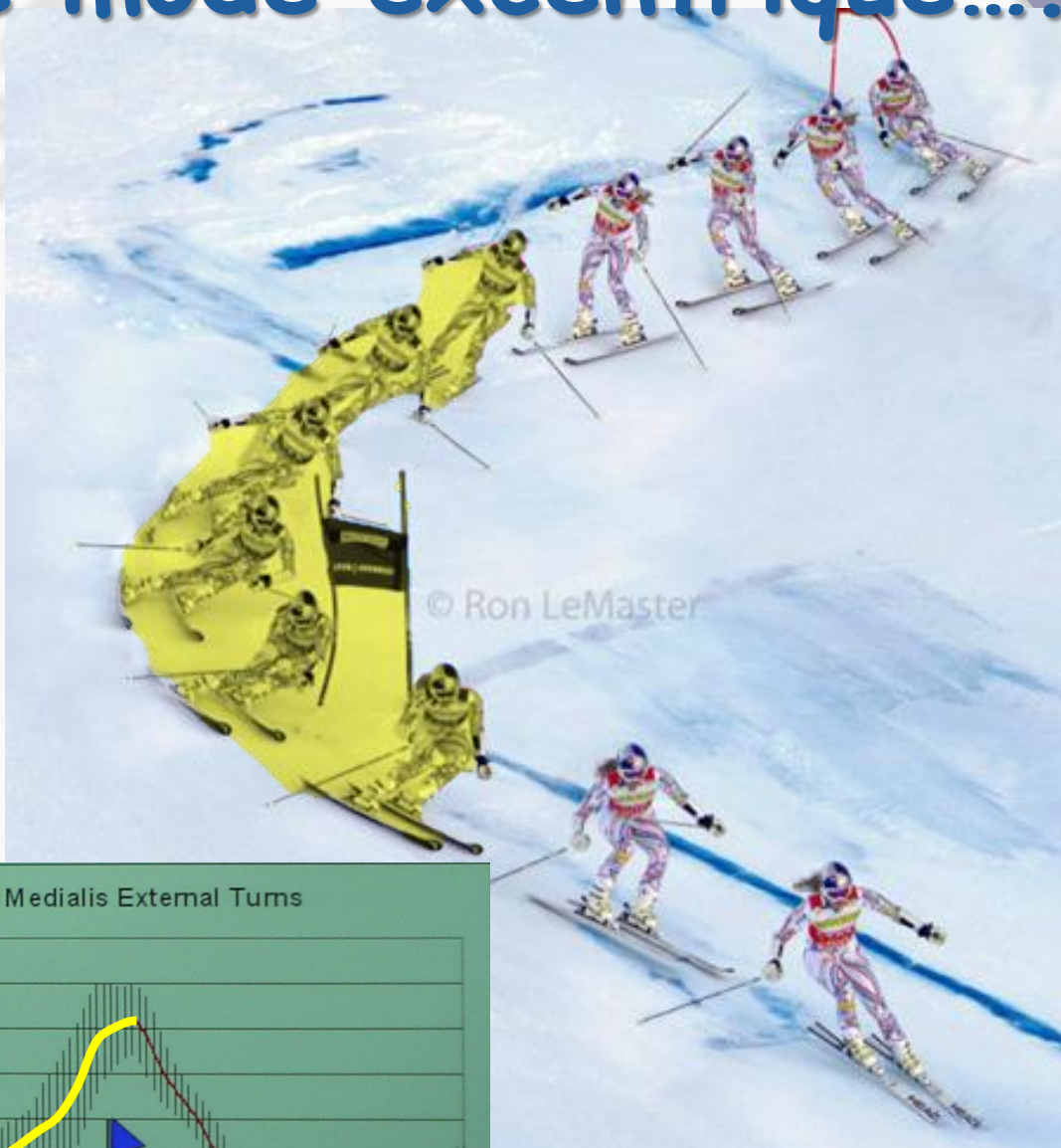
**Variation**  
**des forces**  
**de contact ski neige...**

**...par l'intensité, la durée,**  
**...pour s'adapter à**





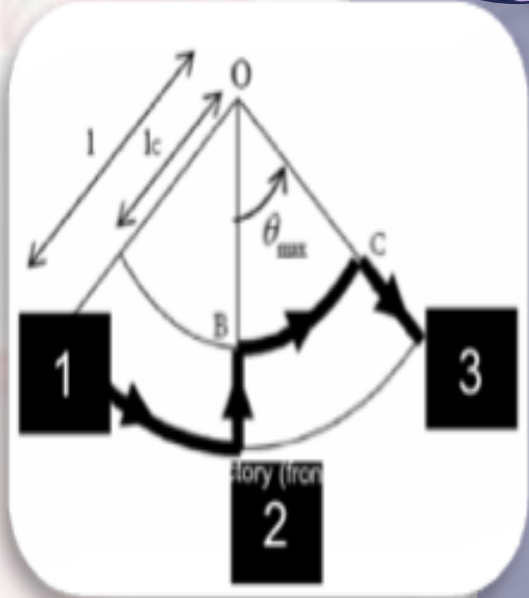
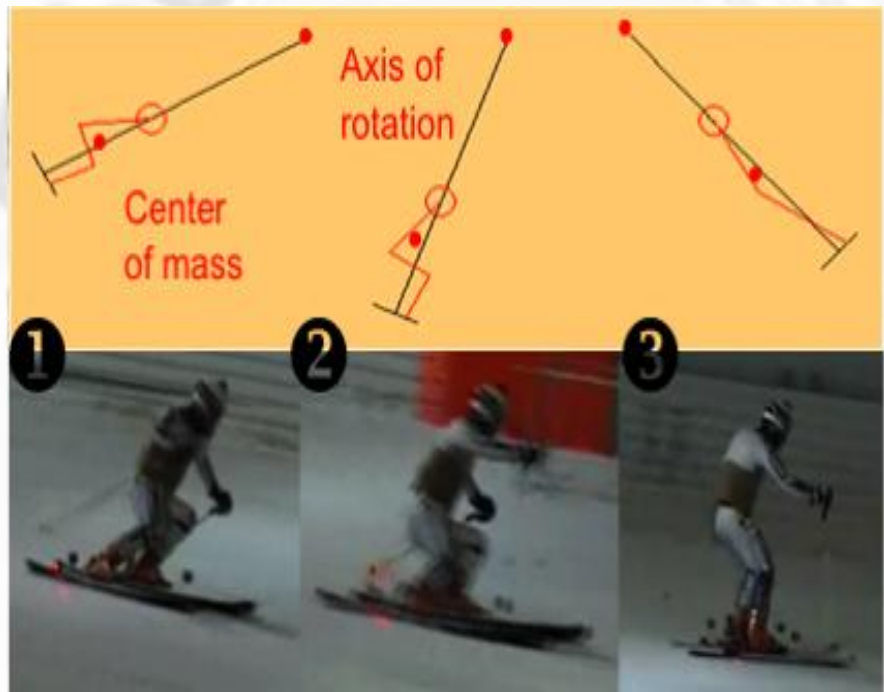
# Le mode excentrique.....



# Le mode Concentrique.....



« Effet pendule à longueur variable en ski » ou « Effet balançoire » ou « coriolis » : variation du moment d'inertie du CG du skieur en virage :



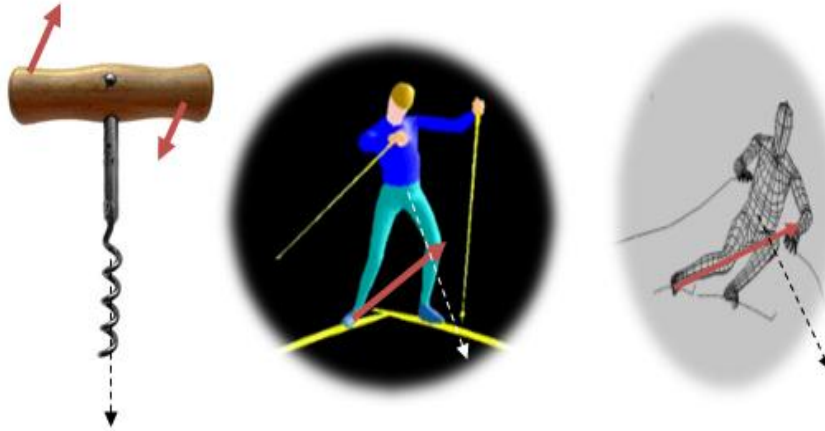
« Plus la masse de l'objet est proche de l'axe de rotation, plus il sera facile de le faire tourner ou d'arrêter sa rotation »





## « Skating effect » : Le principe du tire-bouchon...

-----> Déplacement  
-----> Force ou moment de force exercée latéralement par rapport au déplacement.



Principe mécanique : liaison glissante hélicoïdale entre deux solides

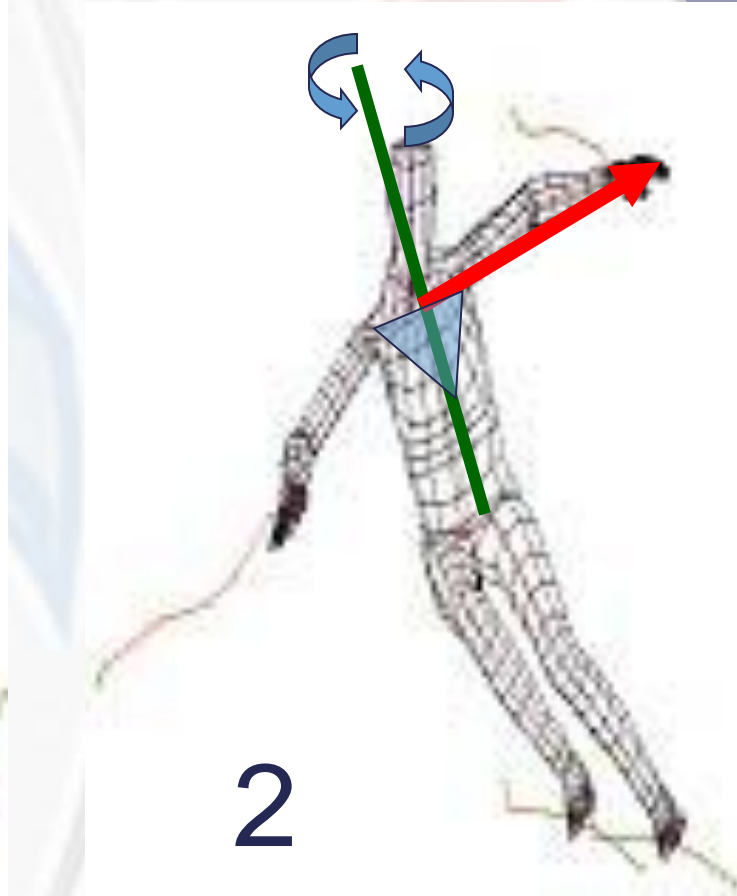
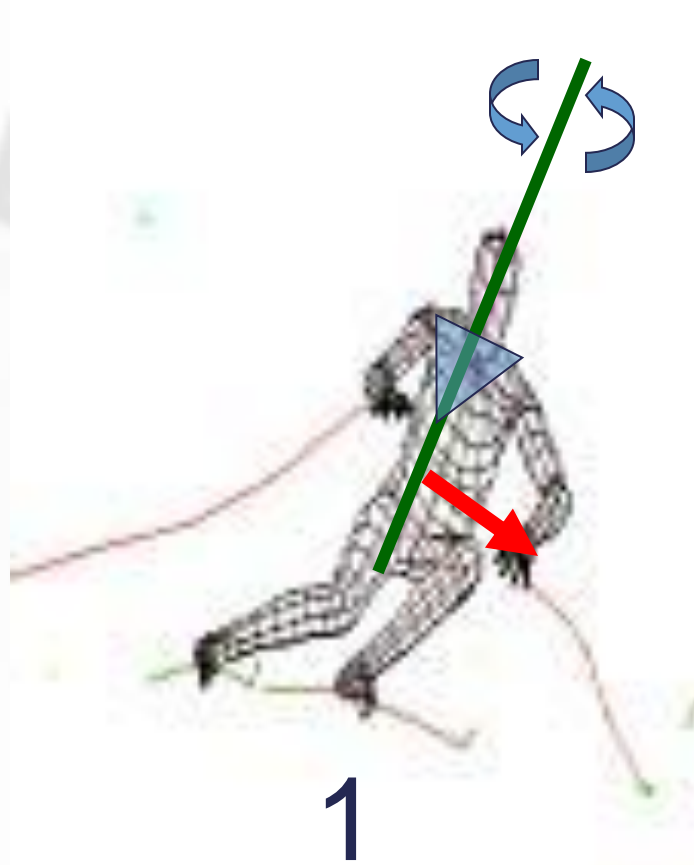


**Variation  
des forces  
de contact ski neige...**

**...par l'intensité, la durée,  
l'orientation pour s'adapter à  
l'environnement.**



# LE MOMENT D'INERTIE : un outil de contrôle



La vitesse angulaire est plus faible en 2 qu'en 1  
mais la quantité de mouvement angulaire (moment cinétique) est constante

# Stabilisation de la tête / Perception - action



***"L'acuité visuelle dynamique est la capacité, du système visuel, à traiter de manière optimale les détails relatifs à un objet en mouvement »***

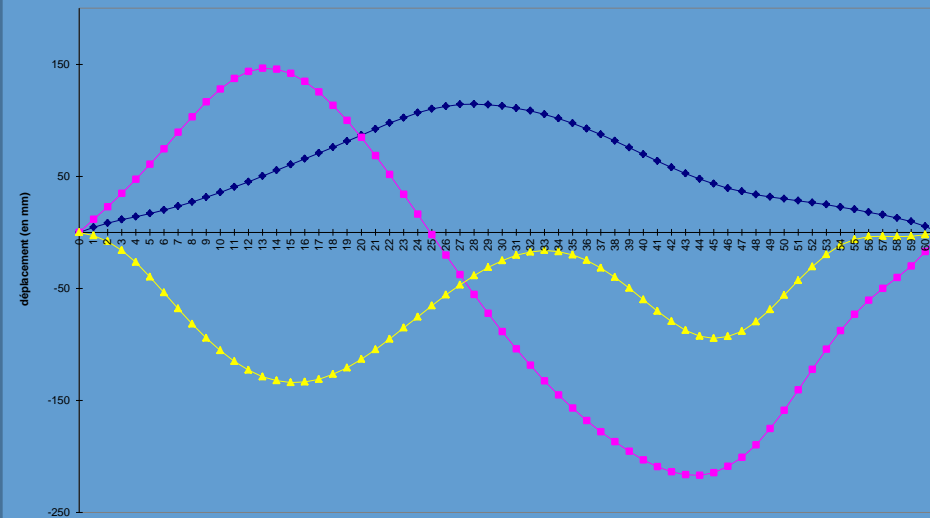
...par l'intensité, la durée,  
l'orientation pour **s'adapter à**  
**l'environnement.**



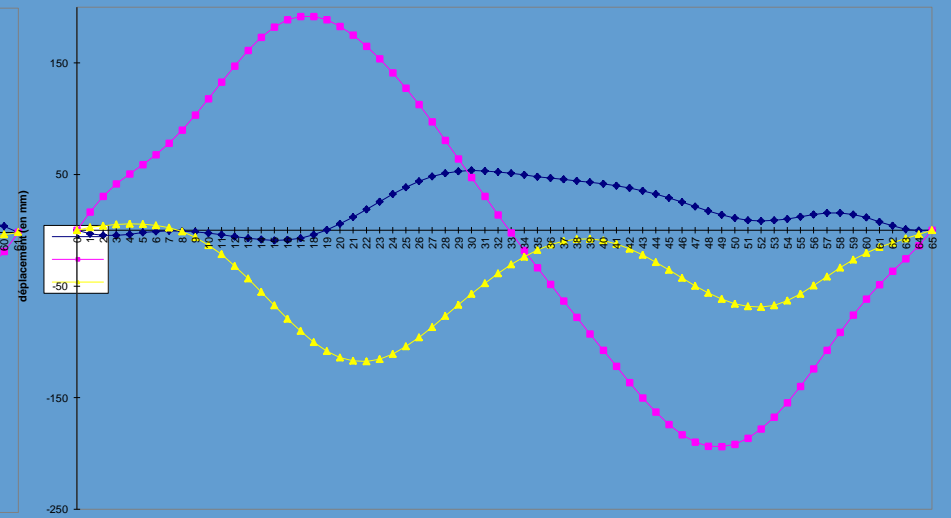
# Trajectoires paramétriques du CG pour les deux passages

Passage 1 : X(t) / Y(t) / Z(t)

Passage 2 : X(t) / Y(t) / Z(t)

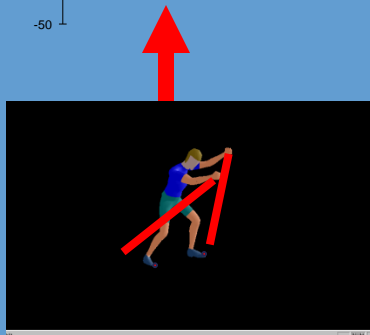
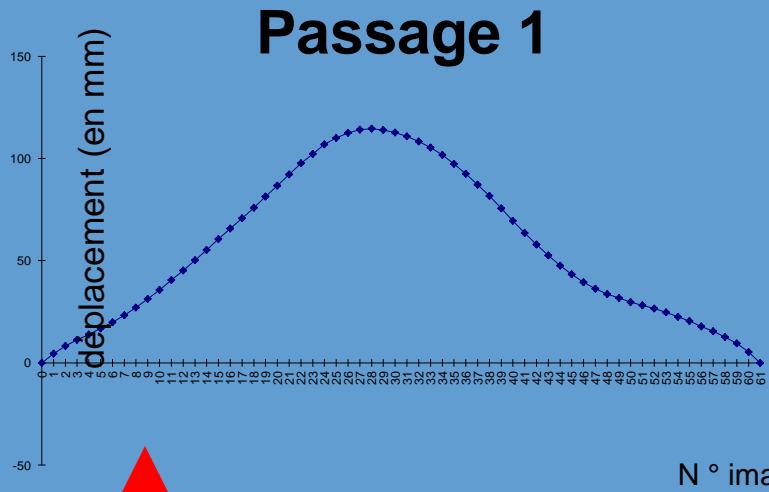


images ( intervalle de temps entre 2 images : 1/50ème de seconde)

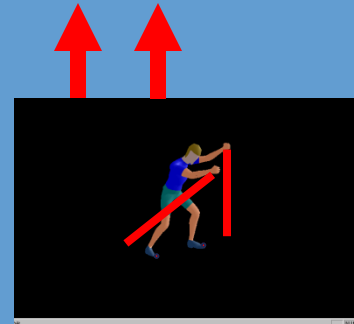
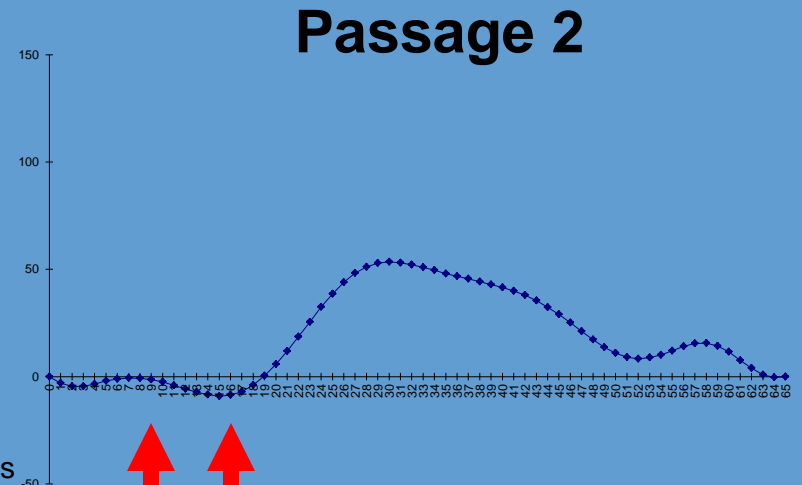


images ( intervalle de temps entre 2 images : 1/50ème de seconde)

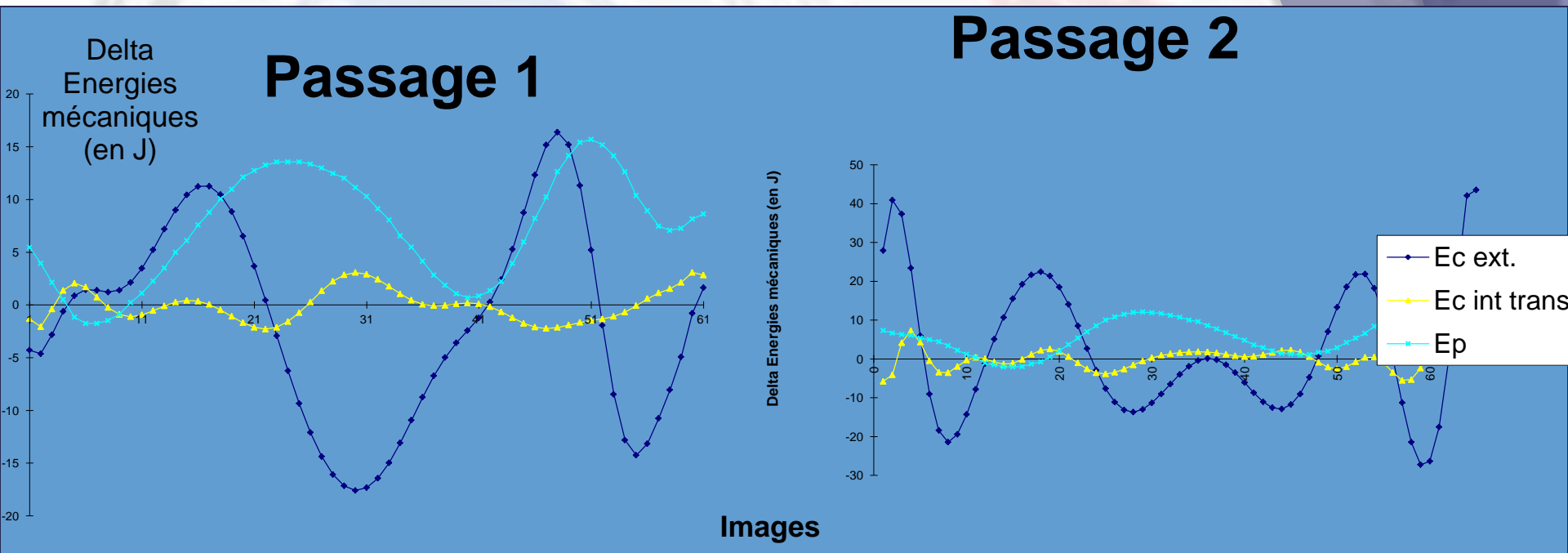
# Trajectoire du centre de masse selon $X(t)$



N° images



# Energies mécaniques pour les deux passages.

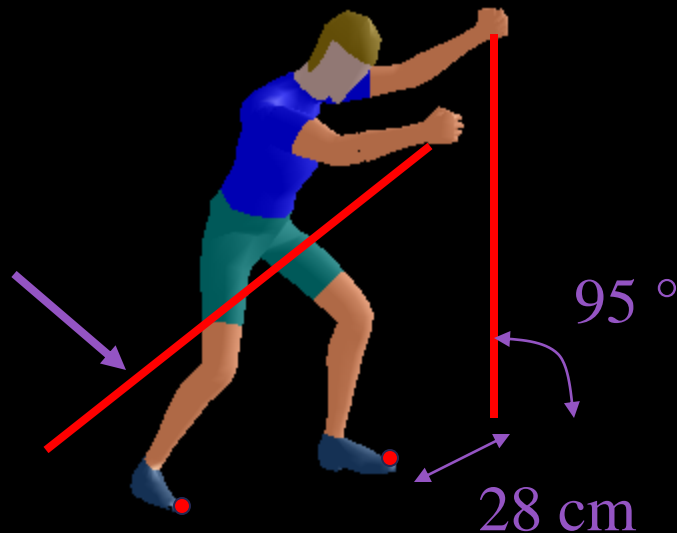


550 joules

1060 joules

# Passage 2 : caractéristiques cinématiques des plantés de bâtons

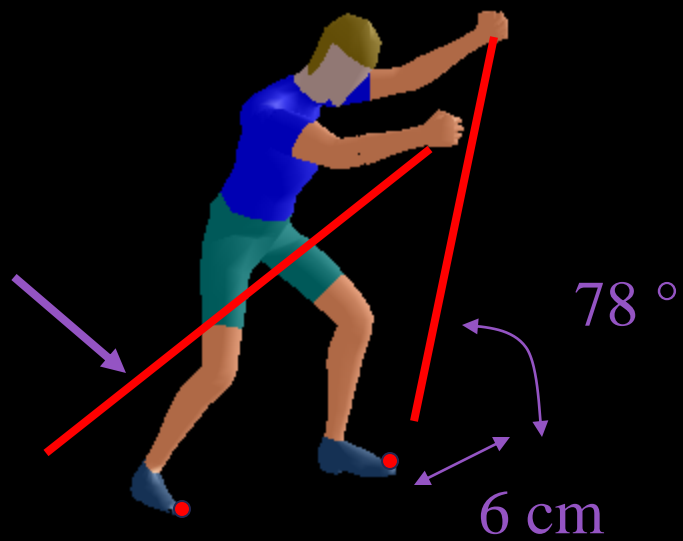
Planté bâton  
controlatéral :  
5 images après





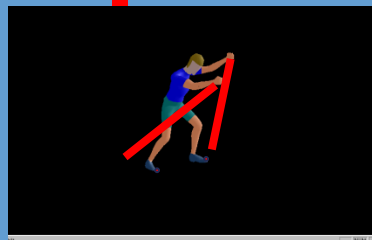
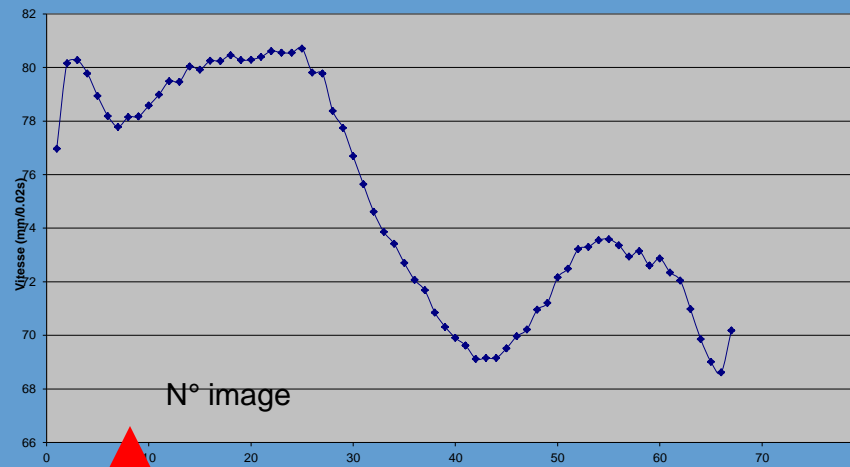
# Passage 1 : caractéristiques cinématiques des plantés de bâtons

Planté bâton  
controlatéral :  
1 image après

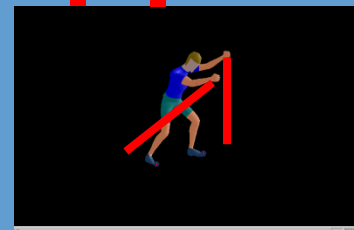
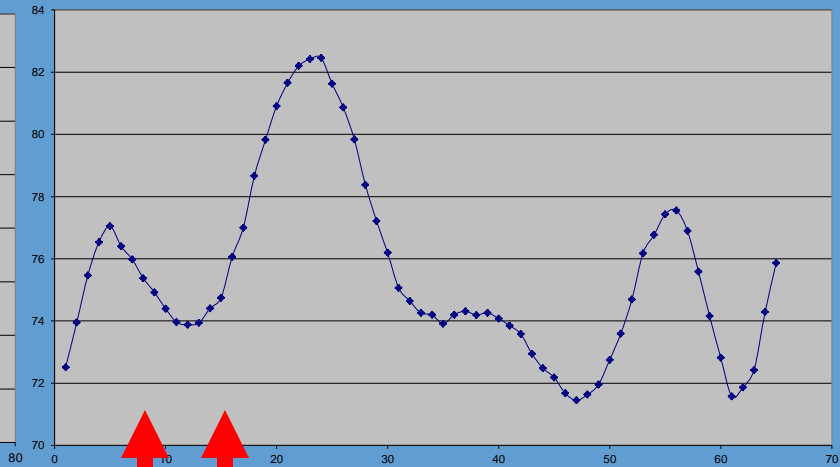


# vitesse du centre de masse selon X(t)

## Passage 1



## Passage 2



# Traffic Jam without Bottleneck

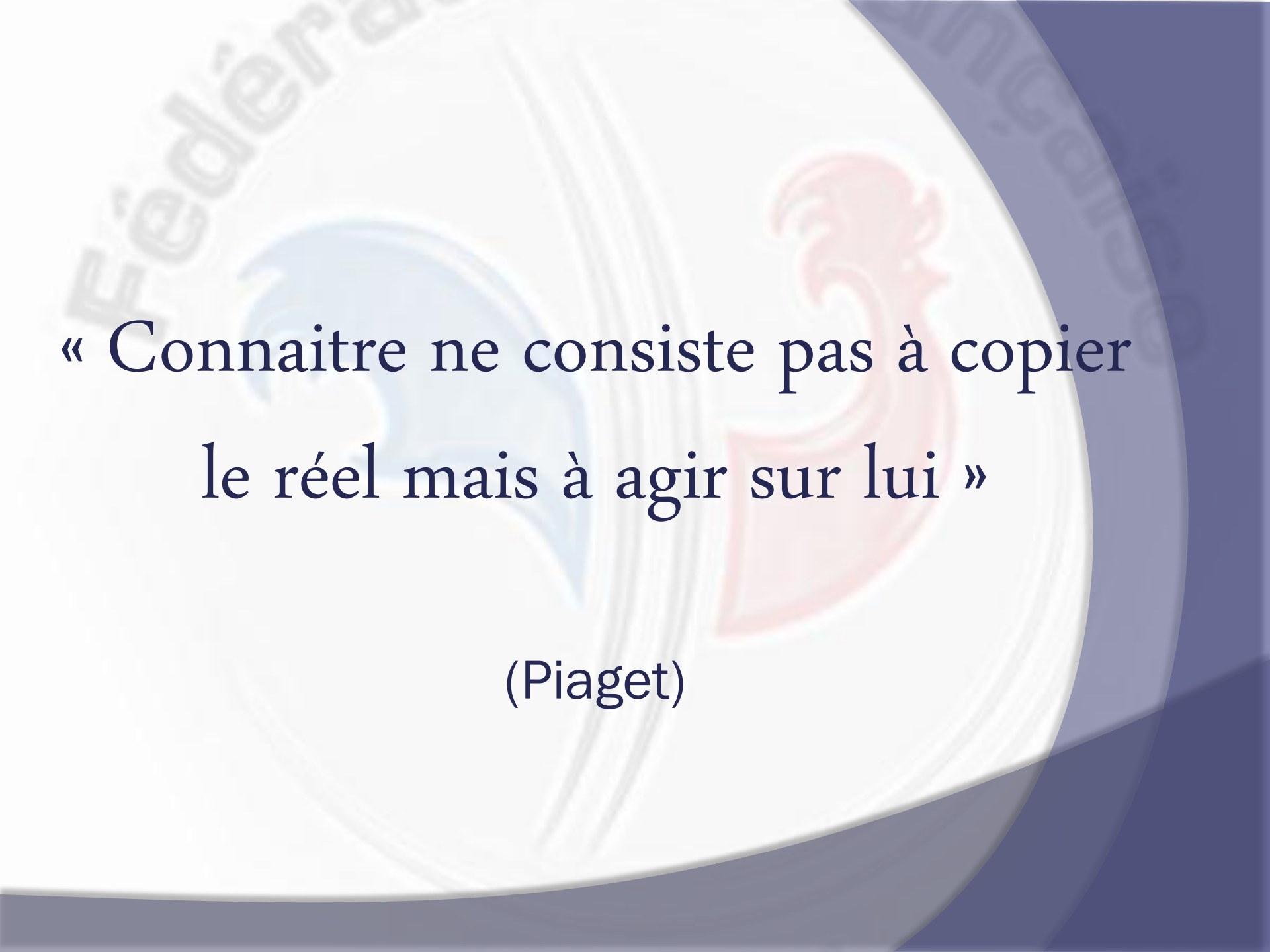
Experimental evidence  
for the physical mechanism of forming a jam

Yuki Sugiyama, Minoru Fukui, Macoto Kikuchi,  
Katsuya Hasebe, Akihiro Nakayama, Katsuhiro Nishinari,  
Shin-ichi Tadaki and Satoshi Yukawa

## Movie 1



The Mathematical Society of Traffic Flow



« Connaitre ne consiste pas à copier  
le réel mais à agir sur lui »

(Piaget)